

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků

Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion of Nanocoat

Student:

Bc. Martin Habich

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, Csc.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Habich**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků
Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion of Nanocoat

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte vlastnosti nanopovlaku a mechanismus adheze k substrátu.
2. Prostudujte vlastnosti povrchu substrátu.
3. Prostudujte vliv povrchového znečištění substrátu na adhezi nanopovlaku.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací.
5. Proveďte experimentální práce a zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:

MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.

BROCK, T., GROTEKLAES, M., MISCHKE, P.: *European Coating Handbook*. Vincentz Verlag, Hannover, Germany, 2000. 410 s. ISBN 3-87870-559-X.

PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.

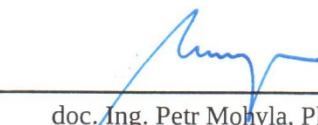
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežní prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

16.5.2016



podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4. autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

16.5.2016



Martin Habich

Bc. Martin Habich

Hrabová 150

789 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HABICH, M.: *Studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2016, 79s. Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Diplomová práce se zabývá studiem vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků. V úvodu práce je popsána definice, rozdělení a formy koroze. V teoretické části jsou uvedeny předúpravy povrchu substrátu před aplikací a vlastnosti nanopovlaku. Experimentální část se zabývá zkoušením adheze transparentního nátěru na různých podkladových materiálech. Vzorky jsou podrobeny zkouškám přilnavosti a následné výsledky jsou vyhodnoceny a porovnány. Návrh metodiky prací a vyhodnocení zkoušek je zpracováno a zaznamenáno ve formě fotografií, tabulek a grafů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

HABICH, M.: *Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion of Nanocoat*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2016, 79 pages, Advisor master thesis: doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

The master thesis deals Study of Influence Cleanness Substrate on Adhesion of Nanocoat. The introduction describes the definition, classification and forms of corrosion. In the theoretical section provides pretreatment of the substrate surface before applying nano-properties. Experimental part deals with testing adhesion of a transparent coating of different substrates. The samples are subjected to tests of grip and subsequent results are evaluated and compared. Proposed methodology of work and evaluation of the tests are processed and recorded in the form of photographs, charts and graphs.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
ÚVOD.....	9
1. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KOROZE	10
1.1 Rozdělení koroze	11
1.1.1 Chemická koroze	11
1.1.2 Elektrochemická koroze	12
1.1.3 Koroze v atmosféře	12
1.1.4 Koroze v plynech	13
1.1.5 Koroze v půdě	14
1.1.6 Koroze ve vodě	15
2. FORMY KOROZE	16
2.1 Rovnoměrná koroze	16
2.2 Skvrnitá a nerovnoměrná koroze	17
2.3 Galvanická koroze	17
2.4 Šterbinová koroze	18
2.5 Nítková koroze.....	19
2.6 Důlková a bodová koroze	20
2.7 Mezikrystalová koroze.....	21
2.8 Nožová koroze	22
2.9 Exfoliační koroze	22
2.10 Extrakční koroze	23
2.11 Korozní praskání.....	24
2.12 Korozní únava.....	24
2.13 Vibrační koroze.....	25
2.14 Kavítace	26
2.15 Vodíková koroze.....	26
3. BLESKOVÁ KOROZE	28
4. PŘEDÚPRAVA POVRCHU	29
4.1 Mechanické úpravy	29
4.1.1 Broušení	30
4.1.2 Otraskávání	30
4.1.3 Leštění.....	31

4.1.4	Omílání	31
4.1.5	Kartáčování	32
4.2	Chemické úpravy	32
4.2.1	Odmašťování	33
4.2.2	Moření	34
5.	MECHANISMUS ADHEZE K SUBSTRÁTU	35
6.	VLASTNOSTI NANOPOVLAKU	36
7.	METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ	37
7.1	Popis a vyhodnocení experimentálních prací	38
7.1.1	Výběr, příprava a značení zkušebních vzorků	38
7.2	Hodnocení povrchu vzorků	42
7.2.1	Hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502-3	42
7.2.2	Měření drsnosti povrchu dle ČSN EN ISO 4287	44
7.3	Aplikace nátěru	53
7.3.1	Stanovení tloušťky mokré vrstvy nátěru dle ČSN EN ISO 2808	53
7.3.2	Stanovení tloušťky suché vrstvy nátěru dle ČSN EN ISO 2808	54
7.4	Zkoušky přilnavosti nátěrového systému	56
7.4.1	Mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16276-2	56
7.4.2	Zkouška přilnavosti křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2	61
7.4.3	Odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624	66
8.	ZÁVĚR	72
9.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	73
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	79

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

Znak	Popis	Jednotka
Cu	měď	[-]
Al	hliník	[-]
Mg	hořčík	[-]
Ti	titan	[-]
Nb	niob	[-]
NaCl	chlorid sodný	[-]
TiO ₂	oxid titaničitý	[-]
SO ₂	oxid siřičitý	[-]
CO ₂	oxid uhličitý	[-]
NO ₂	oxid dusičitý	[-]
NH ₃	amoniak	[-]
Cl ₂	plynný chlor	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
EN	Evropská norma	[-]
ISO	Mezinárodní norma	[-]
Ra	střední aritmetická odchylka profilu	[μm]
Rz	maximální výška profilu	[μm]
Rq	kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu	[μm]
Rp	největší výška výstupku profilu	[μm]
Rv	největší hloubka prohlubně profilu	[μm]
Rsk	šikmost posuzovaného profilu	[-]
Rku	špičatost posuzovaného profilu	[-]
λc	filtr profilu	[-]
L	délka měřeného úseku	[mm]
pH	vodíkový exponent	[-]

ÚVOD

Ve světě průmyslů patří povrchové úpravy k nejdůležitějším technologiím. Díky neustálému vývoji průmyslu se kladou na povrchové úpravy nové nároky. Jednak pro zajištění protikorozní ochrany, životnosti ale také i po vzhledové stránce. Tím pádem nám vznikají nové technologie a nátěrové systémy.

Koroze je celosvětový problém, je spousta druhů korozí, a proto je nutné se touto oblastí zabývat. V České republice způsobí koroze každoročně obrovské škody. Proto je důležitá ochrana, nejen pro zvýšení životnosti všech materiálu ale i pro bezpečnost lidí.

Mezi důležitou oblast povrchových úprav patří předúprava povrchu podkladového materiálu. Důležitou vlastností je přilnavost nátěrového systému k povrchu substrátu. Různé faktory nám ovlivňují adhezi a odolnost proti mechanickým vlivům. Proto je důležité, abychom zajistili správné provedení, vybrali správnou technologii, zajistili čistotu a drsnost.

Za pomoci nanotechnologie nám vznikají nové nátěry s obsahem nanočástic. V dnešní době nám přinášejí nanonátěry nové funkce a vytvářejí unikátní vlastnosti s vynikající antikorozní odolností. Také mohou přinést odolnost proti poškrábání, stárnutí, extrémnímu počasí a odolávat proti vysokým teplotám. Proto se čím dál víc nanopovlaky používají ve strojírenství, stavebnictví ale především v automobilovém průmyslu.

1. DEFINICE A ROZDĚLENÍ KOROZE

Korozi definujeme jako znehodnocování materiálu, kterou způsobuje chemické a fyzikální působení prostředí. Souhrnem těchto fyzikálních a chemických dějů je jako konečný výsledek, částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Téměř všechny materiály podléhají korozi, nejsou to tedy jen kovy a jejich slitiny ale i plastické hmoty, keramické, silikátové, sklovité a jiné materiály. [1]

Na vývoj koroze mají vliv faktory, které označujeme jako činitele korozního procesu. Tyto činitele dělíme na dvě skupiny a to na vnitřní a vnější činitele. Činitele vnitřní, ovlivňuje struktura, složení materiálu a způsobu výroby. Činitele vnější, popisují především prostředí, relativní vlhkost, teploty a čas působení korozního prostředí. [2]

Korozní proces má samovolný průběh a je způsoben tím, že korozní soustava materiálu a prostředí směřuje do pravděpodobnějšího neuspořádaného stavu s menší volnou entalpií. Tato samovolnost korozních reakcí může vést k názoru, že je to nezvládnutelný přírodní jev. Proto korozní věda a technika hledá opatření, která by průběh koroze zpomalila, nebo zcela zastavila. Díky tomu se stává boj proti korozi důležitým úkolem ve všech státech světa. [3]

V průmyslu neexistuje odvětví, v kterém by koroze nepůsobila a kde by nemusela být potřeba omezovat její celkový rozsah. Ať už se jedná o posouzení významu podle hodnoty zařízení, jehož funkci koroze ovlivňuje, nebo podle počtu výrobků, materiálů nebo finančních ztrát korozi způsobených. [3]

1.1 ROZDĚLENÍ KOROZE

Následkem působení faktorů koroze (materiálů, prostředí) je částečné nebo úplné rozrušení materiálu. Podle toho, který z faktorů dominuje, rozdělujeme korozi do jednotlivých druhů: [1]

a) Podle mechanismu:

- chemická koroze
- elektrochemická koroze

b) Podle vzhledu:

- rovnoměrná koroze
- nerovnoměrná koroze

c) Podle korozního činitele:

- koroze při napětí
- koroze za únavy materiálu

d) Podle prostředí:

- v atmosféře
- v plynech
- v půdě
- ve vodě

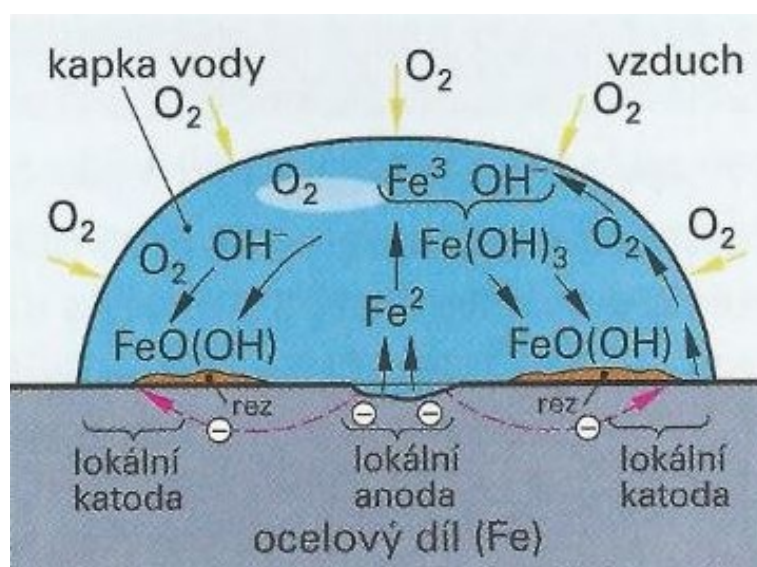
e) Speciální případy [1]

1.1.1 CHEMICKÁ KOROZE

Jedná se o rozrušení kovových materiálů vlivem chemického působení vnějšího prostředí (vzduch, plyny, benzen, atd.). Mezi typické chemické koroze patří oxidace, která na povrchu kovu vytvoří vrstvu oxidů. Pokud je vytvořená vrstva oxidů pórovitá nebo lehce z povrchu odpadá, může tato reakce pokračovat do doby, kdy se celý materiál rozruší. Ale je-li vrstva nepropustná nebo dobře přilnula k povrchu, chemická reakce se zcela zastaví nebo zpomalí. [1]

1.1.2 ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE

Jestliže dochází ke styku materiálu s elektricky vodivým prostředím, dojde ke korozi. U elektrochemické koroze existuje změna spojená s přenosem elektrického náboje. Prostředí jsou zde kapalně roztoky kyselin, zásad solí, které jsou rozpouštěné ve vodě. Tato koroze je charakterizována korozním dějem v elektrolytu za vzniku galvanického článku. [1]



Obr. 1 - Průběh elektrochemické koroze oceli. [4]

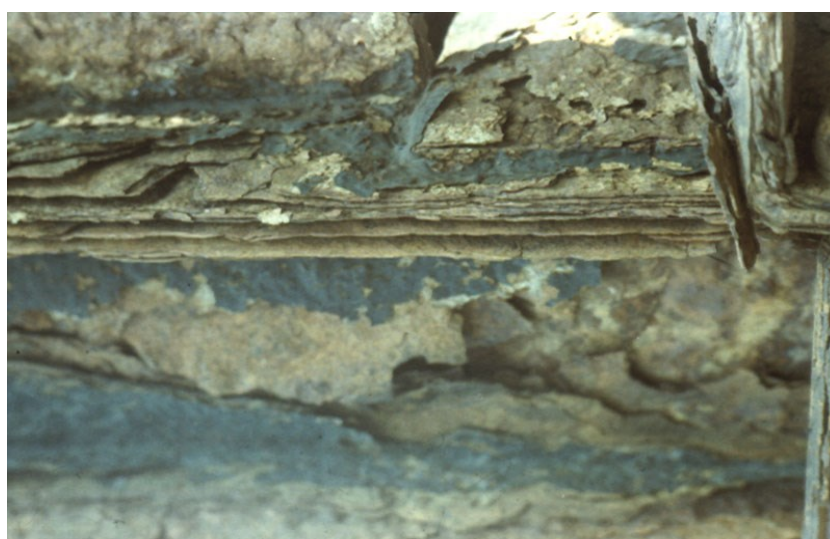
1.1.3 KOROZE V ATMOSFÉŘE

Velké množství předmětů (materiálu) je vystavena na vnějším povrchu působením atmosféry. Při vyhodnocování je nutno brát v úvahu i tyto faktory: [3]

- a) atmosférické srážky a relativní vlhkost
- b) složení atmosféry
- c) teplotu
- d) biologické činitele
- e) sluneční záření [3]

Koroze materiálu v atmosféře je závislá v mnoho případech na vzniku vrstvy elektrolytu na povrchu. Pokud je relativní vlhkost vysoká, vzniká elektrolyt a dochází ke koroznímu napadení materiálu. Jestliže elektrolyt vyschne, koroze se zpravidla zcela zastaví nebo se zpomalí korozní proces. [3]

Mezi další nepříznivé faktory patří atmosférické nečistoty. Z důvodu růstu technosféry, vzrůstají v atmosféře některé složky, které ovlivňují agresivitu atmosféry. Jde především o SO_2 , CO_2 , NaCl a látky přítomné v ovzduší, díky průmyslovým výrobám NO_2 , NH_3 , Cl_2 . [3]



Obr. 2 – *Atmosférická koroze kovové konstrukce.* [5]

1.1.4 KOROZE V PLYNECH

Koroze v plynech je v podstatě chemická koroze, která je vystavena plynnému prostředí a projevuje se za zvýšených a vysokých teplot. Zejména je způsobena oxidačními plyny a redukčními plyny. [3]

V oxidujících plynech je pro korozi charakteristický vznik vrstvy korozního produktu na povrchu. Průběh koroze je závislý na vlastnostech oxidické korozní vrstvy a fázovém rozhraní kovu – vrstvy oxidů – plynu. Obvyklým případem je oxidace kyslíkem, oxidem siřičitým a oxidem uhličitým. [3]

Pokud jde o redukční plyny je koroze způsobena difuzí redukujících plynů do kovu a reakcí s nekovovými složkami. U koroze redukčními plyny nevznikají na povrchu korozní zplodiny. Nejobvyklejším redukčním prostředím je vodík. Mezi další redukční plyny patří např. amoniak, dusík, oxid uhelnatý apod. [3]



Obr. 3 – Koroze způsobená plynným prostředím. [6]

1.1.5 KOROZE V PŮDĚ

V půdě mohou být materiály napadeny různými příčinami:

- prostá půdní koroze,
- koroze bludnými plyny,
- mikrobiální koroze. [7]

Koroze v půdě je především způsobena půdními elektrolyty, jeho složení je závislé na řadě faktorů. Z hlediska koroze je důležitá schopnost půdy vodu zadržet nebo propouštět. Pokud dochází k vysušování půd a na povrchu vznikají rozměrné trhliny, do půdy začne pronikat vzduch a voda ze srážek. Právě v těchto místech nám může vznikat korozní články. Obsah plynů v půdním elektrolytu závisí na druhu půdy, ročním období, hloubce, množství atmosférických srážek apod. [7]

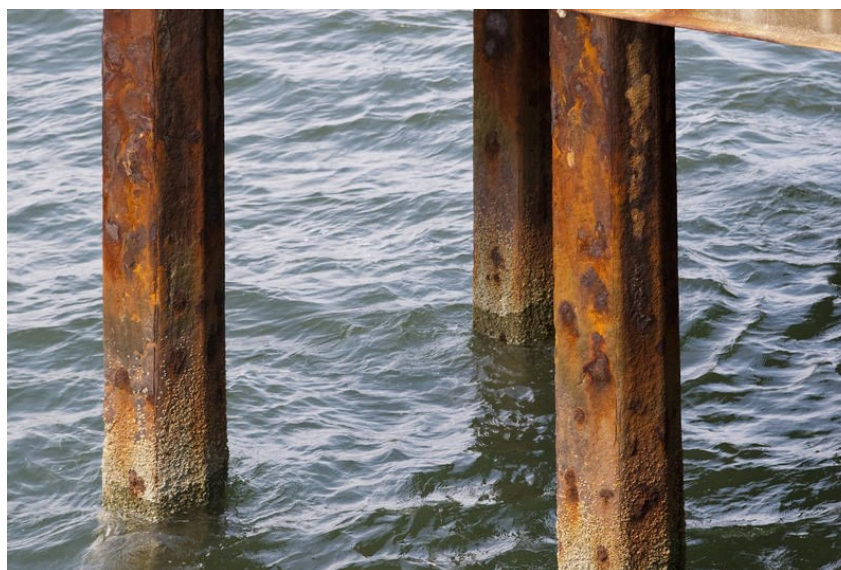


Obr. 4 – Měděné potrubí zasaženo půdní korozi. [8]

1.1.6 KOROZE VE VODĚ

Významným činitelem koroze kovů ve vodě je elektrochemický děj. Dalším důležitým činitelem je typ vody – sladká, slaná a poloslaná. Rychlost koroze ve vodě je také ovlivněna teplotou vody, obsahem kyslíku ve vodě a množstvím a druhem rozpuštěných látek. Pokud se jedná o ponor do vody, definujeme tři zóny: [3]

- **Podponorová** – kov je neustále vystaven působení vody.
- **Střídavého ponoru** – společné působení vody a atmosféry.
- **Postřiková** – rozstřík vody, korozní namáhání velmi vysoké. [3]



Obr. 5 – Molo pokryté korozi způsobenou působením vody. [9]

2. FORMY KOROZE

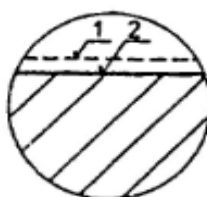
Napadení materiálu korozí můžeme hodnotit z hlediska typu napadení (např. důlkové, nerovnoměrné, atd.) makroskopického nebo podle korozních dějů a prostředí. [3]

2.1 ROVNOMĚRNÁ KOROZE

Jde o rovnoměrný úbytek materiálu po celé ploše kovového povrchu. Jedná se o nejčastější korozi. Vzniká v případech, kdy na povrchu vznikne vrstva nerozpustných korozních produktů, ale za předpokladu, že v této vrstvě je umožněna stejnosměrná difuze iontů po celém povrchu. Co se týče spolehlivosti zařízení, je rovnoměrná koroze příznivá, protože můžeme stanovit rychlost úbytku materiálu a konstruovat zařízení s ohledem na korozní rychlost. Typické pro toto korozní napadení jsou uhlíkové koroze nebo zinek. [3]



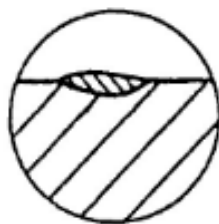
Obr. 6 – Rovnoměrná koroze. [10]



Obr. 7 – Rovnoměrná koroze (1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení). [11]

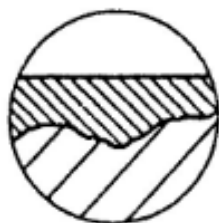
2.2 SKVRNITÁ A NEROVNMĚRNÁ KOROZE

Jestliže hovoříme o korozním procesu, který probíhá v omezeném počtu míst na povrchu, kde nám vznikají skvrny, jedná se o skvrnitou korozi. Okolní zbývající povrchu kovu není korozí napaden. [3]



Obr. 8 – *Skvrnitá koroze.* [11]

Pokud nám ale korozní proces napadá jen určitá místa materiálu a většinou při makroskopicky rozdílných vlastnostech hovoříme o nerovnoměrné korozi. Objevuje se tam, kde se z různých důvodů mění složení materiálu (např. vměstky). Nebo tam kde se mění korozní prostředí (např. fázové rozhraní apod.). [3]



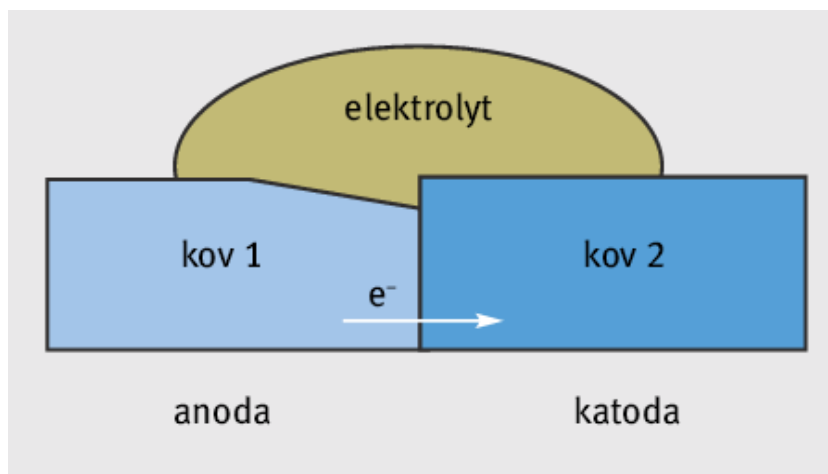
Obr. 9 – *Nerovnoměrná koroze.* [11]

2.3 GALVANICKÁ KOROZE

K této korozi dochází, pokud kovy daného systému mají různý korozní potenciál, jestliže mezi dvěma kovy existuje vodivé spojení nebo pokud oba kovy propojuje elektricky vodivá vlhká vrstva (elektrolyt). [12]

Při této korozi dochází k působení galvanického článku na méně ušlechtilý materiál (anoda), který je přednostně napadán, za to ušlechtlejší materiál (katoda) je díky tomu

proti korozi chráněn. Jedná se o styk dvou kovů s různým potenciálem, který vyvolá v elektricky vodivém prostředí tok elektronů od anody ke katodě. Jde o elektrochemickou reakci, která přirozeně probíhá i u osamoceného kovu. Díky galvanickému článku může v některých případech docházet ke korozi materiálu, který by v daném prostředí korozi odolával. [12]



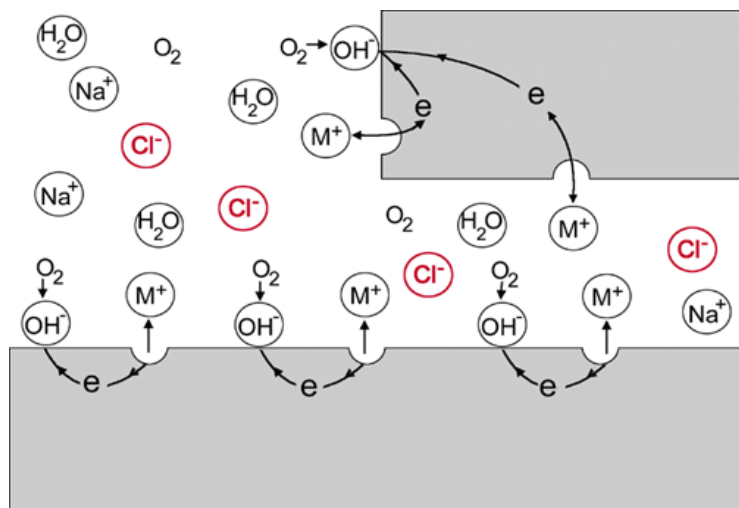
Obr. 10 – Grafické znázornění případů pro vznik galvanického článku. [12]

2.4 ŠTĚRBINOVÁ KOROZE

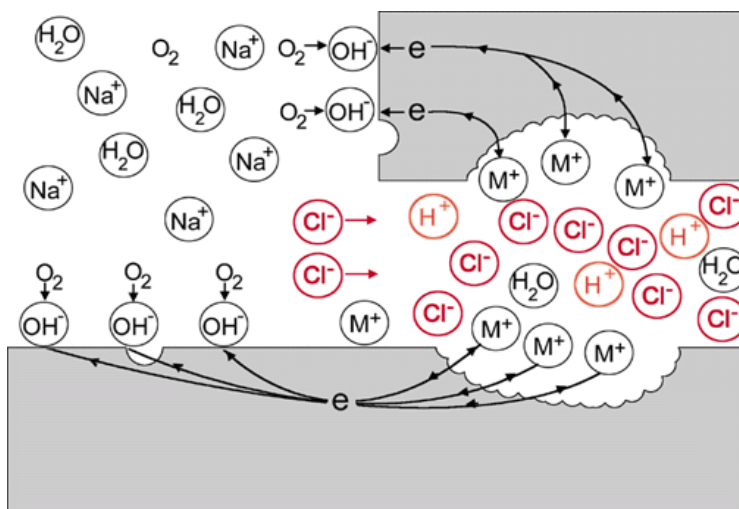
Tato koroze vzniká v místech, které souvisí s úzkými štěrbinami nebo mezerami mezi kovovým povrchem a dalším povrchem (nekovovým). Tyto situace nastávají v konstrukčních štěrbinách trubek, v pórech sváru, v závitových spojích, u nýtovaných spojů nebo pod povlakem, který ztratil adhezi ke kovu. Štěrbinové koroze se také objevují v trhlinách a nečelistvostech kovu (póry). Štěrbinová koroze se skládá z několika fází:

- 1) Voda, která se nachází uvnitř štěrbin, je rychle zbavena kyslíku. Protože celkový obsah kyslíku v tenkém filmu elektrolytu je velmi malý.
- 2) Redukce kyslíku přechází na vnější povrch štěrbin a to díky vysoké elektronové vodivosti kovu. Vznikne tak anodická oblast uvnitř štěrbin a katodická vně ústí. Dojde k postupnému zvyšování agresivity uvnitř.
- 3) Uvnitř se ustaví chemická rovnováha. To vede ke zvýšení agresivity elektrolytu okyselením a to do doby kdy složení dosáhne kritických hodnot, díky tomu již pasivní stav korozivzdorné oceli není stabilní a dojde k aktivaci.

- 4) Korodující povrch uvnitř štěrbiny je obětován anodou, která katodicky chrání ústí. Agresivita nadále roste a intenzivní koroze oceli postupně narušuje funkci součásti. [13]



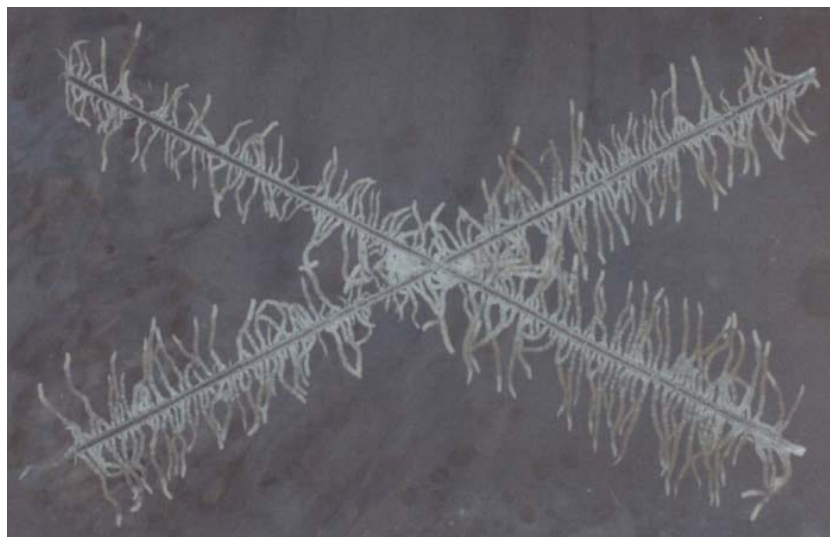
Obr. 11 – Počáteční fáze štěrbinové koroze (spotřeba kyslíku). [13]



Obr. 12 – Poslední fáze štěrbinové koroze. [13]

2.5 NITKOVÁ KOROZE

Je druh koroze, která probíhá pod nátěry (povlaky). Koroze vzniká pouze na povrchu kovu a do hloubky neproniká. Zejména u organických povlaků. Nitky dosahují obvykle několik centimetrů. Na průběh a vznik nitkové koroze má relativní vlhkost okolní atmosféry v rozmezí kolem 70 – 80 %. [14]



Obr. 13 – *Nitková koroze.* [15]

2.6 DŮLKOVÁ A BODOVÁ KOROZE

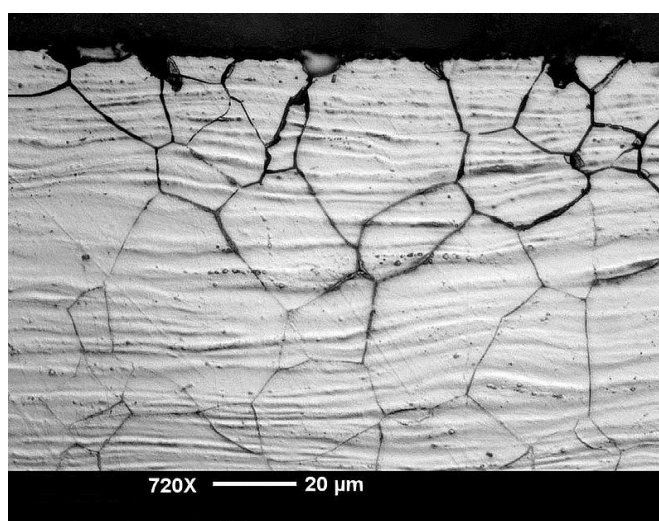
Tato forma koroze je u kovů, které jsou snadno pasivovatelné např. železo, hliník, chrom, nikl a korozivzdorné oceli. Vzniká v malých zasažených částech zejména poškozením pasivní vrstvy v prostředí obsahující ionty chloridové, halogenidové a síranové. Jde o velmi nebezpečnou korozi, která může v některých případech vést až k proděravění a to i poměrně tlustých stěn. Pokud mluvíme o důlkové korozi, jde o hloubku napadení, která není větší než největší průměr důlku. Mezi typické napadení patří vnitřní povrch trubek z uhlíkové oceli. Naopak při bodové korozi je hloubka napadení podstatě větší než průměr. Vyskytuje se u materiálů, kterým na povrchu vzniká v korozním prostředí pasivní vrstva. [11]



Obr. 14 – *Důlková a bodová koroze.* [16]

2.7 MEZIKRYSTALOVÁ KOROZE

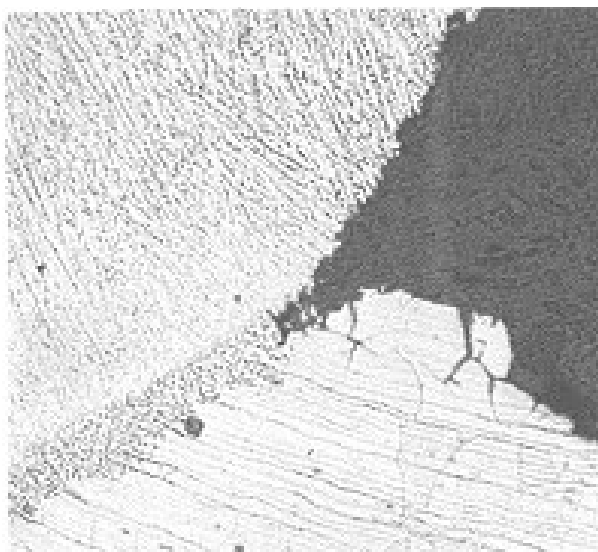
Jedná se o korozi, která nezasahuje celý povrch. Objevuje se v oblasti při hranicích krystalických zrn. Proniká do velkých hloubek a někdy i celým průřezem. Tato koroze se vytváří pod povrchem bez zjevného spojení s povrchem. Příkladem vzniku téhle koroze, může být obohacení nebo ochuzení o některé určité slitinové prvky. Často se s ní setkáme u korozivzdorných austenitických ocelí, které byly ovlivněny ohřevem, dále u slitin Al – Cu a u některých slitin Cu a Mg. V některých případech přechází napadení z hranic krystalů na samotné krystaly, v tom to případě mluvíme o transkrystalové korozi. Obě koroze jsou velmi nebezpečné, protože není lehké je vizuálně zachytit. [11]



Obr. 15 – *Mezikrystalová koroze austenické korozivzdorné oceli.* [17]

2.8 NOŽOVÁ KOROZE

Vzniká na rozhraní svarového kovu a základního materiálu, po ohřevu kovu na teploty bodu tání oceli a následujícím ohřevem na kritické teploty. Nožová koroze byla pozorovaná především u prostředí s kyselinou dusičnou. Většinou se objevuje u chromniklových, Ti a Nb stabilizovaných ocelí. Naopak nožové korozi velmi dobře odolávají nízkouhlíkové austenitické nerezavějící oceli s obsahem uhlíku max. 0,03 %. [18]



Obr. 16 – *Snímek nožové koroze.* [19]

2.9 EXFOLIAČNÍ KOROZE

Objevuje se v místech, kde jsou plechy z vysokopevnostních hliníkových slitin u leteckých konstrukcí. Tato koroze se objevuje u rozšířených hranic zrna. Exfoliační koroze vzniká tam, kde je vrstevnatá struktura materiálu, když jednotlivé rovnoběžné vrstvy materiálu mají odlišné chemické složení. Oceli, které nejvíce podléhají exfoliační korozi, jsou hliníkové slitiny. [20]



Obr. 17 – *Exfoliační koroze hliníku.* [21]

2.10 EXTRAKČNÍ KOROZE

Při extrakční korozi dochází k napadení převážně jen jedné chemické složky slitiny. Napadením může být narušen celý povrch rovnoměrně. Koroze může i rovnoměrně proniká i do hloubky slitiny, místy se můžou vytvořit i důlky a probíhat na hranici zrn. V místě koroze dochází ke změně strukturní mřížky a tím pádem ke snížení mechanických vlastností slitiny. Mezi nejznámější případy patří odzinkování mosazi nebo grafitizace. [3]

Tento typ koroze rozdělujeme dle charakteru probíhajících dějů:

- a) v elektricky nevodivých prostředích,
- b) v elektricky vodivých prostředích,
- c) mikrobiální, biologická koroze apod. [3]



Obr. 18 – *Extrakční koroze (odzinkování mosazi).* [22]

2.11 KOROZNÍ PRASKÁNÍ

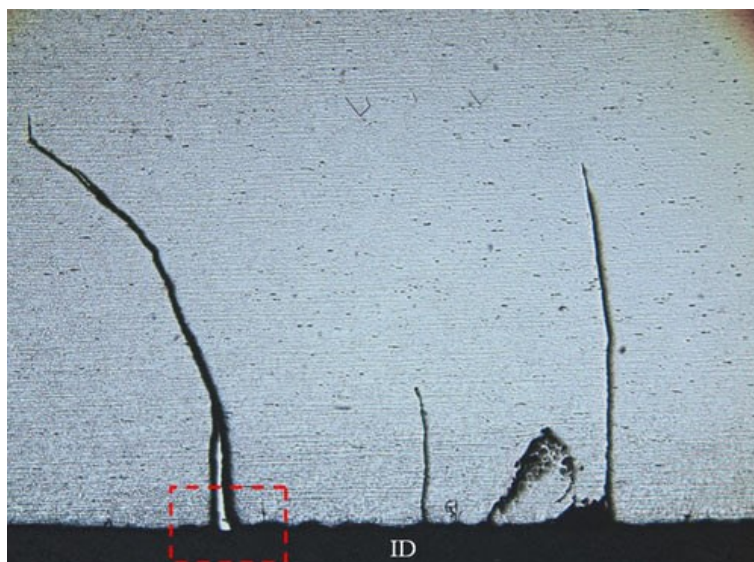
Jedná se o jeden typ porušení kovového materiálu, který je vyvolán působením napjatosti materiálu a korozním účinkem prostředí. Působením mechanického napětí výrazně pod mezí pevnosti a i pod mezí kluzu. Korozní praskání je velmi významný druh korozního napadení, které vede k selhání kovových konstrukcí a zařízení. Většinou korozní praskání začíná v místě bodové koroze a souvisí s poruchami pasivní vrstvy na povrchu materiálu. Ve struktuře kovu se šíří trhliny buď po hranici zrna (interkrystalicky) nebo přes zrna (transkrystalicky). Převážně vzniká u austenitických ocelí, u měkkých uhlíkových ocelí a u slitin mědi. [11] [23]



Obr. 19 – *Korozní praskání.* [24]

2.12 KOROZNÍ ÚNAVA

Korozní únava je výsledek společného působení korozního a mechanického namáhání. Lze ji vysvětlit jako účinek koroze a fyzikálních dějů na povrchu kovu materiálu. U kovového materiálu se snižuje mez únavy vlivem působení agresivního prostředí, hodnotou působení frekvencí střídavého namáhání a době v agresivním prostředí. K narušení může dojít i při opakované poruše pasivační vrstvy oxidů na povrchu kovu. [11]



Obr. 20 – Makroskopický snímek trhliny způsobené korozní únavou. [25]

2.13 VIBRAČNÍ KOROZE

Vzniká na dotýkajících se plochách kovových materiálů, které konají kmitavý pohyb a jsou k sobě přitlačovány vysokým měrným zatížením. Většinou jde o případy pevných spojů (zalisovaných nebo nýtovaných). Díky tomu se mezi dotýkajícími plochami zadržují vytvořené oxidy. Největší vliv na vibrační korozi ze složek atmosféry má kyslík a vodní pára. Kyslík nám korozní proces urychluje a naopak vodní pára nám ten to druh koroze zpomaluje. Vibrační koroze se vyskytuje např. u kluzných ložisek. [11]



Obr. 21 – Vibrační koroze. [26]

2.14 KAVITACE

V prostředí proudící kapaliny dochází ke vzniku kavitace. Důvodem vzniku kavitace je tvoření a zanikání plyných nebo parních bublin v proudící kapalině. Vznik bublin je v místech poklesu tlaku. Pokud tyto bubliny zanikají v blízkosti stěny a naráží na ní kapalina vysokou rychlostí, tím pádem i mechanicky poškozuje materiál, vzniká nám velmi drsný povrch s četnými důlky. Kavitaci můžeme pozorovat např. u lodního šroubu nebo u lopatek vodních turbín. [2]



Obr. 22 – Kavitační poškození. [27]

2.15 VODÍKOVÁ KOROZE

Příčinou této koroze je pronikání vodíku do kovu, jelikož je velikost atomového vodíku malá, dovoluje vstup do mřížky kovů. Na vstupu vodíku do kovu závisí adsorpce vodíku na kovovém povrchu, rozpustnosti vodíku v kovu a difuzi vodíku kovem. Rozpuštěný vodík v kovu způsobuje vodíkovou křehkost oceli nebo reaguje s uhlíkem a způsobí vodíkovou korozi. Poškození se může objevit jako důsledek působení: [3]

- **Elektrolytu** – vznik za vysokých teplot a tlaků, proniklý vodík reaguje s karbidy za vzniku metanu. Tlak metanu stoupá a následně nám vznikají trhliny a puchýřky.

- **Plynného prostředí** – atomární vodík proniká do krystalové mřížky kovu a způsobuje vodíkovou křehkost. Ve struktuře kovu se atomární vodík přemění do molekulárního vodíku a nemůže difundovat ven. Dojde k nárůstu tlaku a poškození materiálu vznikem puchýřů. [3]



Obr. 23 – *Vodíková koroze.* [28]

3. BLESKOVÁ KOROZE

Jde o korozi vznikající především při aplikaci vodou ředitelných nátěrových hmot. Tento typ koroze nevzniká vždy ale jen za určitých podmínek a to většinou pokud je aplikovaný nátěrový film během zasychání vystaven vysoké relativní vlhkosti. Blesková koroze vzniká i v případě, že je povrch velmi kvalitně otryskán. Vysoká relativní vlhkost okolí zabraňuje rychlému odpařování vody z nátěrové hmoty, a proto dochází k vymývání rozpustných solí železa do nátěrové hmoty. Tomuto druhu koroze můžeme zabránit použitím inhibitorů, které tento proces zpomalí, chemickým čištěním povrchu nebo dvoustupňovým tryskáním. [29]

Na průběh a vznik bleskové koroze mají vliv tyto faktory:

- teploty při zasychání filmu,
- relativní vlhkost atmosféry,
- inhibitory koroze,
- polymerní disperze,
- povrchová předúprava,
- hodnota pH zasychající nátěrové hmoty. [29]



Obr. 24 – Poškození nátěrové hmoty bleskovou korozí. [30]

4. PŘEDÚPRAVA POVRCHU

Jedná se o přípravu povrchu pro zajištění přilnavosti konečných povlaků, odolnost proti korozi, opotřebení a pro stejnoměrný vzhled výsledné úpravy. Předúpravy rozdělujeme na dvě základní skupiny: [11]

- Mechanické úpravy.
- Chemické úpravy. [11]

Mezi základní požadavky předběžné úpravy kovů patří zajištění určité požadované mikrogeometrie, kvalita povrchu a zajištění požadované čistoty povrchu. [11]

Předběžná úprava a kvalita povrchu část rozhoduje o úspěchu či nezdaru dalších prací. U některých případů se předběžná úprava povrchu bere jako konečná úprava povrchu výrobku. [11]

4.1 MECHANICKÉ ÚPRAVY

Předběžnou mechanickou úpravou povrchu, vytváříme určitou požadovanou jakost a kvalitu povrchu. Mechanickou úpravou povrchu získáme především: [11]

- podmínky pro vhodnou přilnavost následující vrstvy,
- očištěný povrchu od nečistot,
- zvýšení podmínek pro odolnost proti korozi a opotřebení,
- povrch vyhovující vzhledovým požadavkům,
- zlepšení mechanických vlastností. [11]

Mezi nejrozšířenější mechanické způsoby úprav povrchu patří broušení, otryskávání, leštění, omílání a kartáčování. Všechny tyto technologie se používají na úpravy před vytvořením povlaku. [11]

4.1.1 BROUŠENÍ

Broušení je postupný úběr materiálu a odstranění hrubých nerovností povrchu (rýhy, švy odlitku, apod.) Může se provádět ručně nebo strojně. Používáme různé druhy rotačních kotoučů, s nalepeným brusivem s rozdílnou zrnitostí na obvodu kotouče. Jedná se o dosažení požadované drsnosti povrchu. Většinou o drsnosti 1 μm a více, na drsnost povrchu 0,4 – 0,2 μm . Postup volíme podle stupně nerovnosti povrchu. [11]

Rozdělení podle typu provádění:

- Hrubování – suchá brusiva o zrnitosti 24 až 100.
- Vyhlazování – brusné kotouče se přimazávají, zrnitost 120 až 240.
- Předlešt'ování – zrnitost 280 až 500. [11]

4.1.2 OTRYSKÁVÁNÍ

Hlavním účelem je čištění povrchu od korozních produktů a dodání vhodného povrchu drsnosti a zpevnění povrchu. Během tryskání dopadá abrazivní částice (zrno) na povrch velkou rychlostí. Dochází k zasekávání zrn do povrchové vrstvy materiálu. Výsledek otryskávání ovlivňuje řada parametrů např. hmotnost, tvrdost, velikost a tvar zrna. Zařízení pro otryskání většinou bývá mechanické nebo pneumatické. [11]

Intenzita otryskávání je závislá:

- na druhu otryskávaného materiálu,
- velikosti a tvaru zrna,
- na kinetické energii,
- na úhlu a vzdálenosti dopadu tryskání,
- velikosti trysky. [11]

Mezi používané tryskací hmoty patří:

- litinová drť a broky,

- sekaný drát,
- suchý led,
- umělé a speciální materiály,
- brusiva,
- ocelové kuličky,
- balotina,
- struska,
- tlakem vody. [11]

Křemičitý písek se přestává používat pro tryskání. Z důvodů vdechování křemičitého prachu a následně onemocnění pracovníků silikózou plic.

4.1.3 LEŠTĚNÍ

Jde o operaci při, které dochází k nižšímu úběru materiálu a navíc dochází k plastické deformaci povrchové vrstvy. Odstraňujeme nejjemnější stopy po předchozích operacích při dosažení velmi nízké drsnosti a vysokého lesku. Leštíme jak základní materiál, tak i materiál po povrchových úpravách. Lesk nám zajišťuje leštící nástroj, obvodová rychlost a použitý druh leštící pasty. Na klasické leštění používáme tvarové rotační kotouče sestavené z různých, textilních materiálů s nanesenými leštícími pastami. Pokud předlešťujeme, používáme tvrdší látkové, plstěné nebo kožené kotouče a mastnější, ostřejší pasty při větších obvodových rychlostech. Na odlešťování měkké kotouče a jemnější pasty, při menší obvodové rychlosti. [11]

4.1.4 OMÍLÁNÍ

Je úprava povrchu, při které dochází k úběru materiálu a vyhlazování účinkem působení omílacích prostředků a omílaných výrobků v otáčejícím se bubnu nebo zvonu. Technologie je vhodná pro zpracování velkých sérií tvarově náročných předmětů. Použití pro vyhlazení povrchu, k zaoblení hran, k odstranění okují a k povrchovému zpevnění. [11]

Výhody technologie omílání:

- zvýšení výrobnosti,
- zpevnění povrchu a zvýšení korozní odolnosti,
- snížení výrobních nákladů,
- snížení zmetkovitosti. [11]

4.1.5 KARTÁČOVÁNÍ

Tato mechanická úprava se používá k odstranění hrubých nečistot (např. starých nátěrů, rzi, korozních produktů). Operaci kartáčování zařazujeme po broušení nebo před leštěním k zjemnění a sjednocení povrchu, především k odstranění oxidické vrstvy. Kartáčováním nelze dosáhnout úplného odstranění nečistot. Mezi nejpoužívanější vlákna patří kovová, přírodní a umělá. [11]

4.2 CHEMICKÉ ÚPRAVY

Chemické (elektrochemické) úpravy povrchu se zejména používají k odstranění nečistot z povrchu materiálu před dalšími úpravami. Řadíme mezi ně technologie odmašťování, moření, leštění a odrezování. [11]

Nečistoty ulpělé na povrchu během výrobních procesů lze rozdělit do dvou skupin:

- **Ulpělé nečistoty** – vážou se k povrchu adhezní silou, jedná se o všechny zbytky mastných látek (emulze, oleje, pasty), kovových nečistot (třísky, prach) a nerozpustných anorganických nečistot (prach z ovzduší, brusiva, grafit).
- **Vlastní nečistoty** – vázány ke kovu chemisorpcí, s kovem jsou spojeny určitou chemickou vazbou. Především jde o korozní zplodiny (okuje, rez). [11]

4.2.1 ODMAŠŤOVÁNÍ

Chemická úprava povrchu pro odstranění všech druhů ulpělých nečistot na povrchu, které jsou vázány fyzikální adsorpcí nebo adhezními silami. Principem odmašťovacích prostředků je uvolnit nečistoty z povrchu, převedení do roztoku nebo emulze a následně zabránit zpětnému vyloučení na kovovém povrchu. [11]

Odmašťování lze rozdělit do tří základních postupů:

- odmašťování v organických rozpouštědlech,
- odmašťování v alkalických roztocích,
- odmašťování emulzí. [11]

Podle způsobu je rozlišujeme na odmašťování:

- ponorem,
- postřikem,
- v parách,
- elektrolytické,
- ultrazvukem,
- mechanické a tepelné. [11]

4.2.2 MOŘENÍ

Jde o odstranění korozních produktů z povrchu kovu chemickým nebo elektrochemickým způsobem. K moření nejčastěji používáme kyseliny a kyselé soli, někdy i alkalické činidla. Nejvíce se setkáváme s mořením oceli a litiny. V těchto případech jde o odstranění okují, které vznikli při ohřevu při tváření za tepla a při tepelném zpracování a rzi, která vznikla působením atmosféry za běžných podmínek. Mořením odstraníme oxidickou vrstvu na povrchu, která je porézní a póry prochází kyselina, podleptává povlak a vodík, ten se uvolní ve formě bublinek a svým tlakem odtrhává oxidické vrstvy z povrchu materiálu. [11]

Používané kyseliny při moření:

- kyselina sírová
- kyselina chlorovodíková
- kyselina fosforečná [11]

5. MECHANISMUS ADHEZE K SUBSTRÁTU

Adheze je důsledkem působením chemických, fyzikálních a mechanických sil. Jde o úzké propojení substrátu a povlaku. Které vede vytvoření pevné vazby mezi sebou. [31]

Přilnavost (adheze) je velmi důležitá vlastnost. Tuto adhezi ovlivňuje druh substrátu, typ povlaku, způsob předúpravy a technologie. [31]

Adhezi rozdělujeme na pět následujících mechanismů:

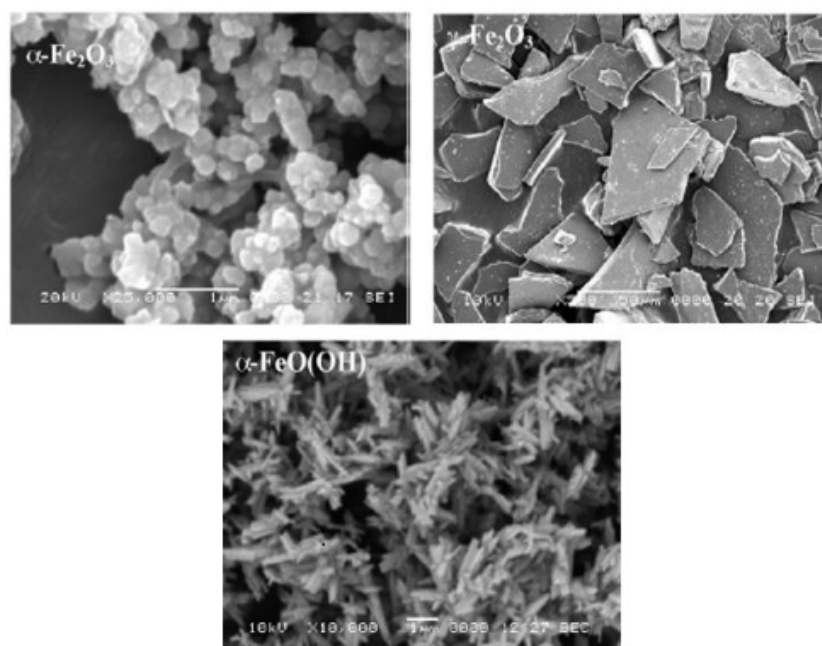
- 1) **Mechanická adheze** – např. suchý zip, kdy dvě fáze do sebe mechanicky zapadají.
- 2) **Chemická vazba** – jde o dvě fáze, které vzájemně vytváří sloučeninu a díky tomu drží pohromadě.
- 3) **Elektrostatická přilnavost** – je dotyk dvou rozlišných substancí, ve spoji vzniknou dvě vrstvy kondenzátoru, který má rozdílně nabitě strany, které se přitahují.
- 4) **Difuzní adheze** – spoj vzniká vzájemnou difuzí materiálu přes rozhraní.
- 5) **Disperzní adheze** – vzniká přitažlivostí Van der Waalsových sil. [32]

6. VLASTNOSTI NANOPOVLAKU

U povlaku obsahujícím nanočástice bylo pomocí experimentálních prací zjištěno, že částice v nátěru, o rozměrech nepřesahující 100 nm, mají velice dobrý vliv na vlastnosti povlaku. Mezi tyto vlastnosti patří např. zlepšení bariérových vlastností a zvýšení výsledné tvrdosti. Pro správnou funkci nátěru je důležitý výběr částic (tvar, velikost, povrchová úprava) a také dokonalé rozmístění částic v pojivu. Pro vylepšení vlastností se používají nanoprášky kovu TiO_2 . [33]

Pokud mluvíme o složení nanonátěru, které obsahují anorganické částice (např. anorganické křemíkové částice), navzájem hustě propojeny, vykazuje tento nátěr lepší vlastnosti jako odolnost proti poškrábání a zvýšenou tvrdost. Křemíko-organické nanonátěry mohou zabránit korozi. Nanonátěry nám zvětšují odolnost proti oděru a poškrábání, korozi, otiskům prstů, stárnutí materiálu a mají samočisticí schopnosti. [33]

V dnešní době nanočástice obsažené v nanopovlacích, mohou v nátěrovém systému vytvořit unikátní vlastnosti, s vynikající antikorozní odolností, které odolávají extrémnímu počasí, poškrábání, vysokým teplotám. Díky těmto vlastnostem se nanopovlaky používají ve strojírenství, ve stavebnictví a v automobilovém průmyslu. [33]



Obr. 25 – Nanočástice (oxidy železa). [34]

7. METODIKA EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

Experimentální práce budou probíhat v následujícím sledu operací:

1. Výběr, příprava a značení vzorků.
2. Hodnocení povrchu vzorků.
 - hodnocení zaprášení povrchu dle ČSN ISO 8502 (samolepící páskou)
 - stanovení drsnosti povrchu materiálu dle ČSN EN ISO 4287
(drsnoměr Mitutoyo Surftest – 301)
3. Aplikace nátěru.
 - nanášení štětcem
 - stanovení tloušťky mokrého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808
 - stanovení tloušťky suchého nátěrového systému dle ČSN EN ISO 2808
4. Zkoušky přilnavosti antikorozního nátěrového systému.
 - mřížková zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 16279-2
 - křížový řez dle ČSN EN ISO 16279-2
 - odtrhová zkouška přilnavosti dle ČSN EN ISO 4624

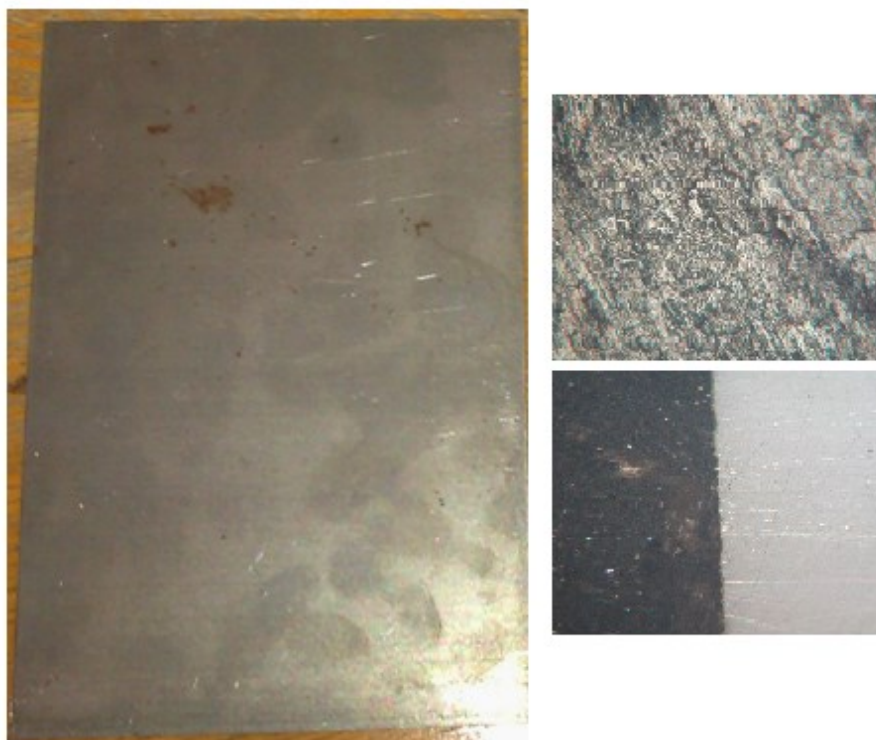
7.1 POPIS A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍCH PRACÍ

7.1.1 VÝBĚR, PŘÍPRAVA A ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

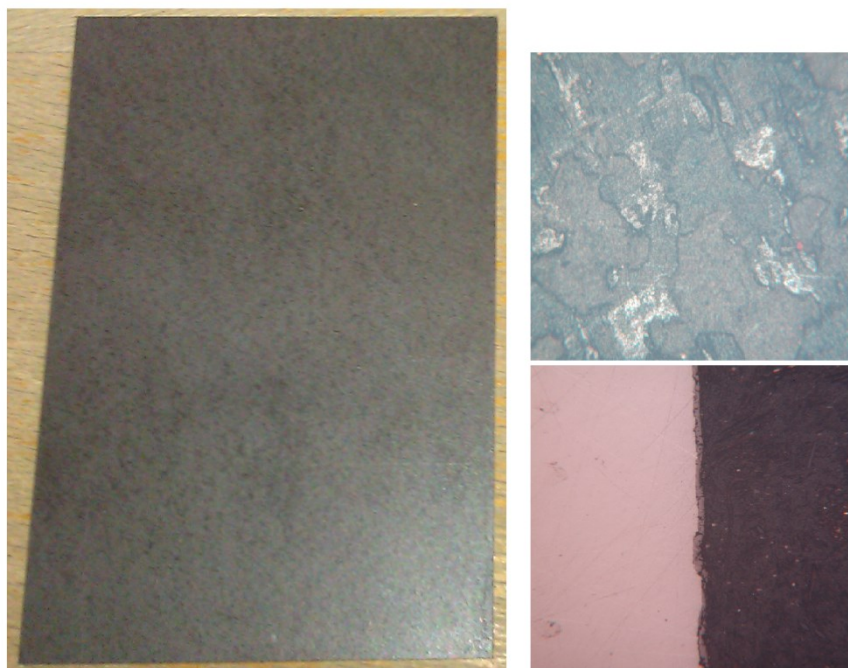
Pro zkušební vzorky se použily tři různé typy ocelových plechů. U každého typu dva vzorky. U vzorků byly provedeny na mikroskopu detailní snímky povrchu a snímky v řezu.

1. Ocelový plech – STANDARD.
2. Ocelový plech – válcovaný za tepla.
3. Ocelový plech – válcovaný za tepla – tryskaný.

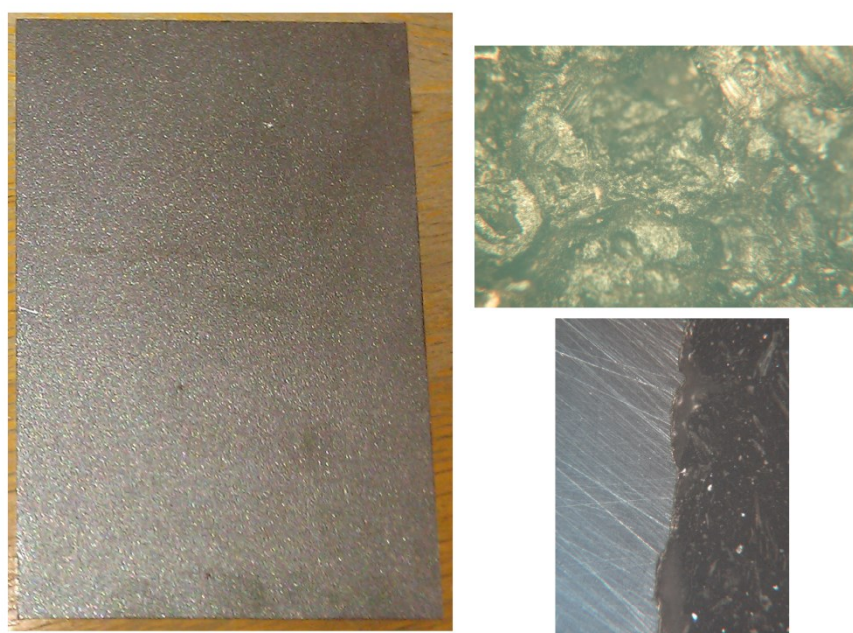
Fotodokumentace povrchu vzorku a detailu povrchu, řez:



Obr. 26 – *Ocelový plech – STANDARD, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x.*



Obr. 27 – *Ocelový plech – válcovaný za tepla, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x.*



Obr. 28 – *Ocelový plech – válcovaný za tepla – tryskaný, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x.*

7.1.1.1 ZNAČENÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Vzorky byly značeny písmenem a číslem. Písmena A, B, C označují typ ocelových plechů, podle opracování. A čísla, jestli se jedná o první nebo druhý vzorek.

Značení:

- A – válcovaný plech za tepla,
- B – STANDARD,
- C – válcovaný plech za tepla – tryskaný.

7.1.1.2 PŘÍPRAVA VZORKŮ

V přípravě vzorků ještě byl proveden nástřik vody v určitých intervalech na vzorky, s důvodu bleskové koroze. Po tomto procesu byl na vzorky ihned aplikován transparentní nátěr.

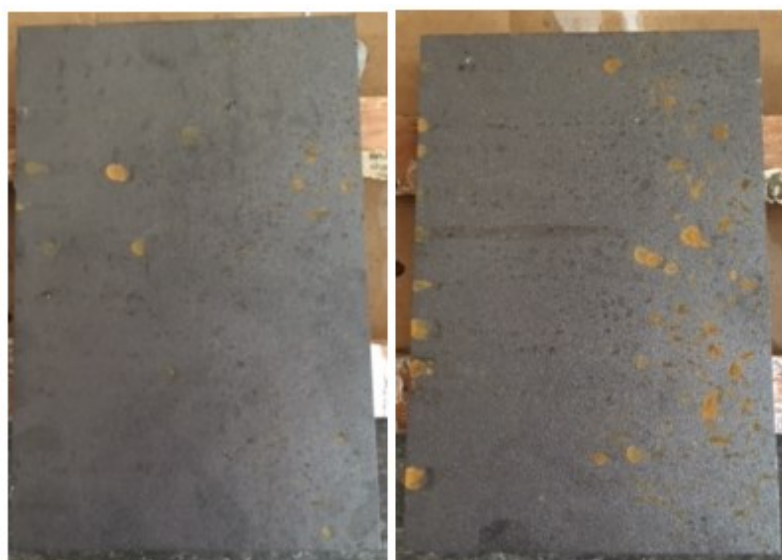
Fotodokumentace vzorků po provedení:



Obr. 29 – Ocelový plech – válcovaný za tepla (blesková koroze).



Obr. 30 – *Ocelový plech – STANDARD (blesková koroze).*

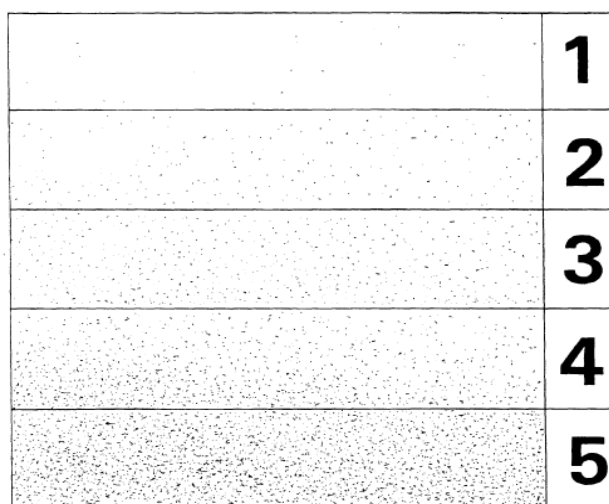


Obr. 31 – *Ocelový plech – válcovaný za tepla – tryskaný (blesková koroze).*

7.2 HODNOCENÍ POVRCHU VZORKŮ

7.2.1 HODNOCENÍ ZAPRÁŠENÍ POVRCHU DLE ČSN ISO 8502-3

Tato norma popisuje stanovení zbytku prachu a to na očištěném ocelovém povrchu, který je připraven pro aplikaci nátěru. Zkouškou zjistíme množství přítomného prachu na povrchu a průměrnou velikost částic prachu. Pro vyhodnocení zkoušky se využívá samolepící adhezní páska. Páska se přitlačí na ocelový povrch a pod úhlem 180° je stržena. Páska se poté umístí na kontrastní podklad. Následuje vizuální vyhodnocení množství zachyceného prachu a velikosti částic odhadem. [35]



Obr. 32 – Obrazová stupnice odpovídající množství prachu. [35]

TŘÍDA	POPIS
0	Částice neviditelné, zvětšení 10 x.
1	Částice viditelné při zvětšení 10 x (částice menší než 50 µm).
2	Částice viditelné prostým okem (částice mezi 50 µm a 100 µm v průměru).
3	Částice jednoznačně viditelné prostým okem (částic do 0,5 mm v průměru).
4	Částice mezi 0,5 až 2,5 mm v průměru.
5	Částice větší než 2,5 mm v průměru.

Obr. 33 – Třídy velikosti prachových částic. [35]

7.2.1.1 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZAPRÁŠENÍ POVRCHU DLE ČSN ISO 8502-3

Dle normy ČSN ISO 8502-3 byla stanovena hodnota zaprášení před aplikací nátěrové hmoty na povrch vzorků. Pro vyhodnocení množství prachu na povrchu byla použita samolepící adhezni páska. Páska byla přilepena na daný povrch vzorků, přitlačena a stržena pod úhlem 180° z povrchu. Pro vyhodnocení byla páska nalepena na kontrastní papír (čistý bílý papír) a pomocí lupy se zjistilo množství zachyceného prachu na pásce a velikost prachových částic. Všechny zjištěné hodnoty byly porovnány s referenční tabulkou. Poté bylo stanoveno množství prachu a velikost prachových částic na povrchu vzorků.

Vyhodnocení pomocí obrazové stupnice:

Tab. 1 – Vyhodnocení zaprášení povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3.

VZOREK	STUPEŇ ZAPRÁŠENÍ	VELIKOST PRACHOVÝCH ČÁSTIC
1A – VÁLCOVANÝ ZA TEPLA	2	2
2A – VÁLCOVANÝ ZA TEPLA	2	2
1B - STANDARD	2	2
2B - STANDARD	2	2
1C - TRYSKANÝ	2	2
2C - TRYSKANÝ	2	2

7.2.2 MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287

Drsnost vyjadřujeme jako soubor nerovností povrchu na relativně malé vzdálenosti. Většinou vznikají při výrobě. Určení drsnosti je podle způsobu obrábění, hloubky stop po nástroji nebo jiným způsobem. Do drsnosti nepatří vady na povrchu. Mezi tyto vady můžou patřit náhodné nerovnosti, které se ojediněle vyskytují a vznikají vadami daného materiálu. [36]

Dle ČSN EN ISO 4287 mezi důležité parametry drsnosti patří:

- R_p – největší výška výstupku profilu [μm],
- R_v – největší hloubka prohlubně profilu [μm],
- R_z – maximální výška profilu [μm],
- R_a – průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm],
- R_q – kořenová průměrná čtvereční odchylka profilu [μm],
- R_{sk} – šikmost posuzovaného profilu [-],
- R_{ku} – špičatost posuzovaného profilu [-]. [36]

Povrchová struktura je rozdělena na složky podle rozteče příslušných nerovností. Dle normy ČSN EN ISO 4287 se definují geometrické parametry:

- W pro vlnitost povrchu,
- R pro drsnost povrchu,
- P pro základní profil. [36]

7.2.2.1 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ DRSNOSTI POVRCHU DLE ČSN EN ISO 4287

Před aplikaci nátěrové hmoty byla měřena drsnost dle ČSN EN ISO 4287. Měření drsnosti povrchu se provádělo na dotykovém profilometru Mitutoyo Surftest SJ 301. U zkoumaných vzorků bylo provedeno 5 měření, jak v příčném, tak i v podélném směru. Všechny hodnoty získané měřením byly zapsány do tabulek a následně byla určena jejich průměrná hodnota. Na konec bylo vytvořeno grafické znázornění hodnot drsnosti vzorků. Všechna měření na přístroji Surftest SJ 301 probíhalo dle ISO 1997.



Obr. 34 – profilometr Mitutoyo Surftest SJ 301.

Vyhodnocení drsnosti na vzorku A – ocelový plech válcovaný za tepla:**Popis parametru:**

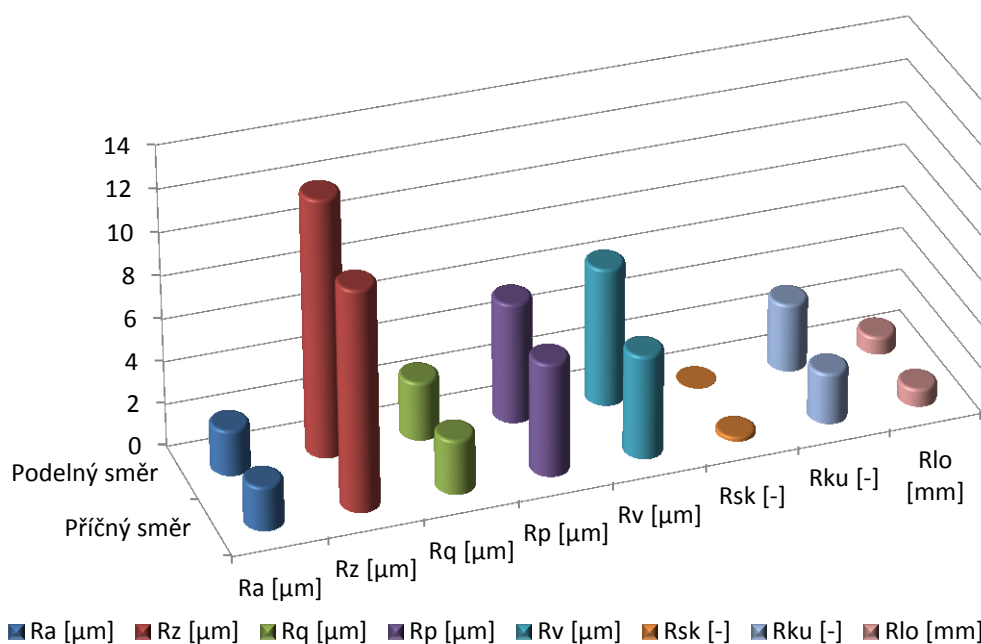
- λ_c – filtr profilu, vymezující rozhraní mezi drsností a vlnitostí.
- L – délka měřeného úseku.

Tab. 2 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku A v podélném směru.

Vzorek	Ocelový plech válcovaný za tepla							
Parametry	$\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, L = 5 mm, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	2,05	11,29	2,56	5,17	6,12	- 0,25	2,65	0,812
2	2,06	11,80	2,58	6,05	5,75	0,31	3,59	0,812
3	2,27	13,32	3,00	5,77	7,54	- 0,48	3,47	0,813
4	2,13	12,05	2,88	5,68	6,96	0,28	3,22	0,813
5	2,09	11,55	2,60	5,32	5,84	0,19	2,96	0,812
MIN	2,05	11,29	2,56	5,17	5,75	- 0,48	2,65	0,812
MAX	2,27	13,32	3,00	6,05	7,54	0,31	3,59	0,813
Průměrné hodnoty	2,12	12,002	2,724	5,598	6,442	0,01	3,178	0,8124

Tab. 3 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku A v příčném směru.

Vzorek	Ocelový plech válcovaný za tepla							
Parametry	$\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ mm}$, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	2,11	10,27	2,51	5,53	4,74	0,31	2,15	0,814
2	1,98	10,39	2,49	5,04	5,36	0,09	2,70	0,812
3	2,13	10,30	2,60	5,57	4,63	0,28	2,18	0,813
4	2,04	10,22	2,50	5,20	4,11	0,19	2,08	0,812
5	1,99	10,35	2,66	5,07	5,33	0,11	2,74	0,813
MIN	1,98	10,22	2,49	5,04	4,11	0,09	2,08	0,812
MAX	2,13	10,39	2,66	5,57	5,36	0,31	2,74	0,814
Průměrné hodnoty	2,05	10,306	2,552	5,282	4,834	0,196	2,37	0,8128

**Graf. 1** – Znázornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku A, v podélním a v příčném směru.

Vyhodnocení drsnosti na vzorku B – ocelový plech STANDARD:**Popis parametru:**

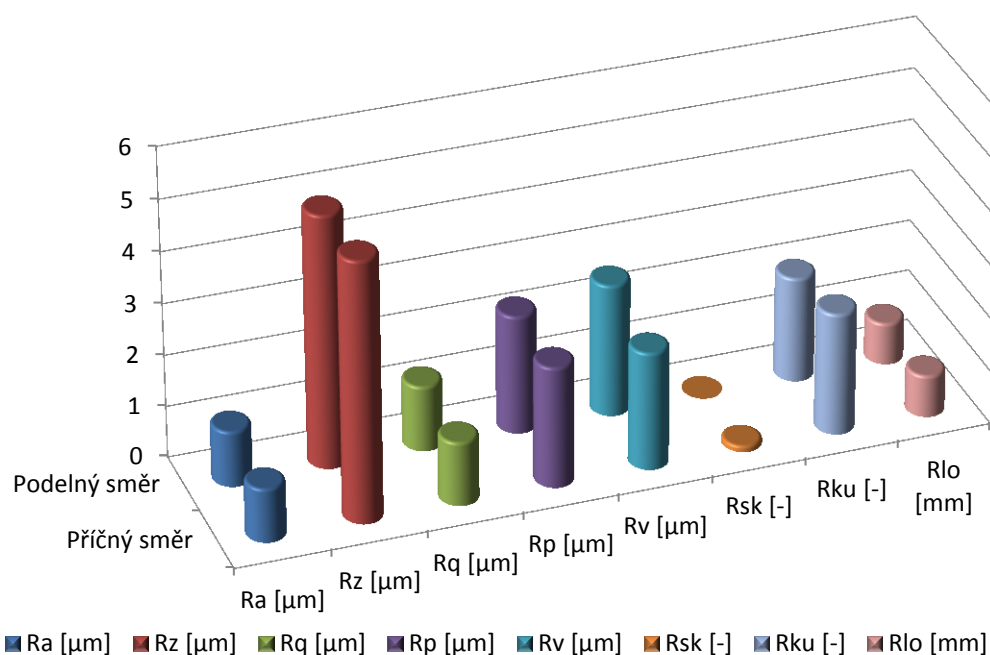
- λ_c – filtr profilu, vymezuující rozhraní mezi drsností a vlnitostí.
- L – délka měřeného úseku.

Tab. 4 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku B v podélném směru.

Vzorek	Ocelový plech STANDARD							
Parametry	$\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ mm}$, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	1,14	5,18	1,31	2,48	2,69	0,01	1,94	0,805
2	1,01	4,90	1,20	2,17	2,73	- 0,48	2,24	0,806
3	1,12	4,65	1,28	2,27	2,38	- 0,16	1,84	0,805
4	1,07	5,05	1,29	2,33	2,55	0,03	2,10	0,806
5	1,04	4,72	1,22	2,21	2,46	- 0,28	2,06	0,806
MIN	1,01	4,65	1,20	2,17	2,38	- 0,48	1,84	0,805
MAX	1,14	5,18	1,31	2,48	2,73	0,03	2,24	0,806
Průměrné hodnoty	1,076	4,9	1,26	2,292	2,562	- 0,176	2,036	0,8056

Tab. 5 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku B v příčném směru.

Vzorek	Ocelový plech STANDARD							
Parametry	$\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ mm}$, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	0,96	4,62	1,14	2,44	2,18	0,23	2,26	0,804
2	1,10	5,38	1,29	2,45	2,43	0,06	2,48	0,805
3	0,98	4,73	1,19	2,30	2,17	0,16	2,21	0,804
4	1,05	5,12	1,22	2,15	2,25	0,08	2,32	0,805
5	1,12	5,40	1,34	2,36	2,37	0,04	2,51	0,806
MIN	0,96	4,62	1,14	2,15	2,17	0,04	2,21	0,804
MAX	1,12	5,40	1,34	2,45	2,43	0,23	2,48	0,806
Průměrné hodnoty	1,042	5,05	1,236	2,34	2,28	0,114	2,356	0,8048

**Graf. 2** – Znázornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku B, v podélním a v příčném směru.

Vyhodnocení drsnosti na vzorku C – ocelový plech válcovaný za tepla – tryskaný:**Popis parametru:**

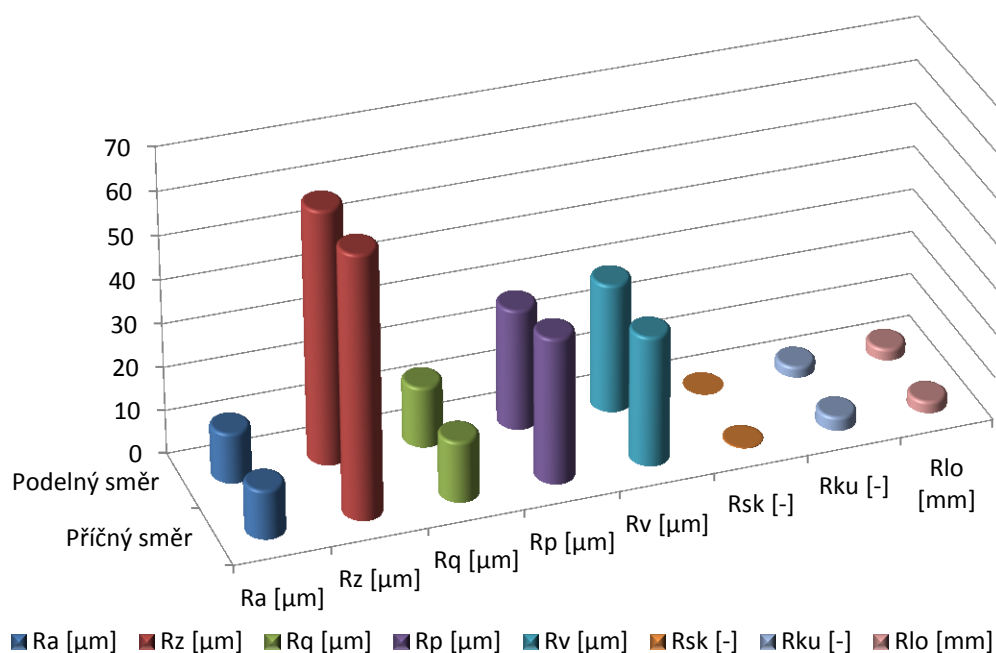
- λ_c – filtr profilu, vymezující rozhraní mezi drsností a vlnitostí.
- L – délka měřeného úseku.

Tab. 6 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku C v podélném směru.

Vzorek	Ocelový plech tryskaný							
Parametry	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, L = 5 mm, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	11,55	60,58	14,03	26,60	33,98	- 0,24	2,43	2,606
2	11,18	54,24	13,93	28,49	25,75	0,11	2,35	2,595
3	11,61	57,23	13,11	27,39	29,84	- 0,12	2,64	2,597
4	11,27	58,47	13,88	27,36	27,65	0,09	2,28	2,601
5	11,46	60,12	14,01	28,27	30,15	0,17	2,19	2,599
MIN	11,18	54,24	13,11	26,60	25,75	- 0,24	2,19	2,597
MAX	11,61	60,58	14,03	28,49	33,98	0,17	2,64	2,606
Průměrné hodnoty	11,414	58,128	13,792	27,622	29,474	0,002	2,378	2,5996

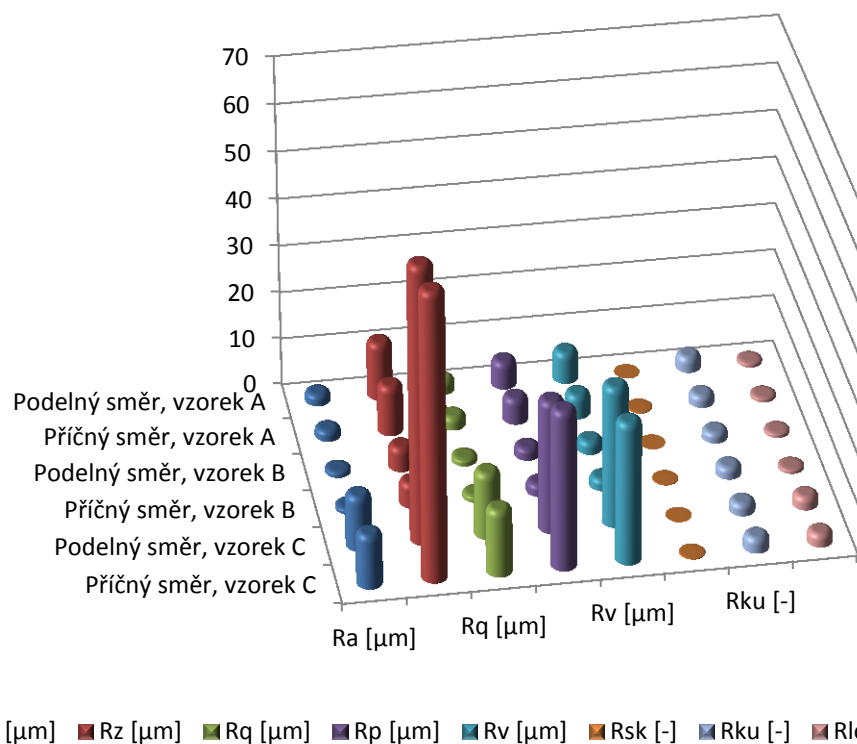
Tab. 7 – Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku C v příčném směru.

Vzorek	Ocelový plech tryskaný							
Parametry	$\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$, $L = 5 \text{ mm}$, ISO 1997							
Měření	PARAMETRY DRSNOSTI							
	Ra [μm]	Rz [μm]	Rq [μm]	Rp [μm]	Rv [μm]	Rsk [-]	Rku [-]	Rlo [mm]
1	10,62	57,23	13,40	36,77	30,89	0,21	3,83	2,601
2	11,46	67,66	14,11	30,63	28,80	0,10	2,51	2,592
3	10,89	51,21	13,87	32,54	29,31	0,18	3,05	2,596
4	11,35	60,39	14,08	35,69	30,74	0,14	2,86	2,600
5	11,57	64,78	13,92	31,24	28,96	0,23	2,98	2,593
MIN	10,62	51,21	13,40	30,63	28,80	0,10	2,51	2,592
MAX	11,89	67,66	14,11	36,77	30,89	0,23	3,83	2,601
Průměrné hodnoty	11,178	60,254	13,878	33,374	29,74	0,172	3,046	2,5964

**Graf. 3** – Znázornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku C, v podélním a v příčném směru.

Celkové vyhodnocení drsnosti povrchu vzorků:

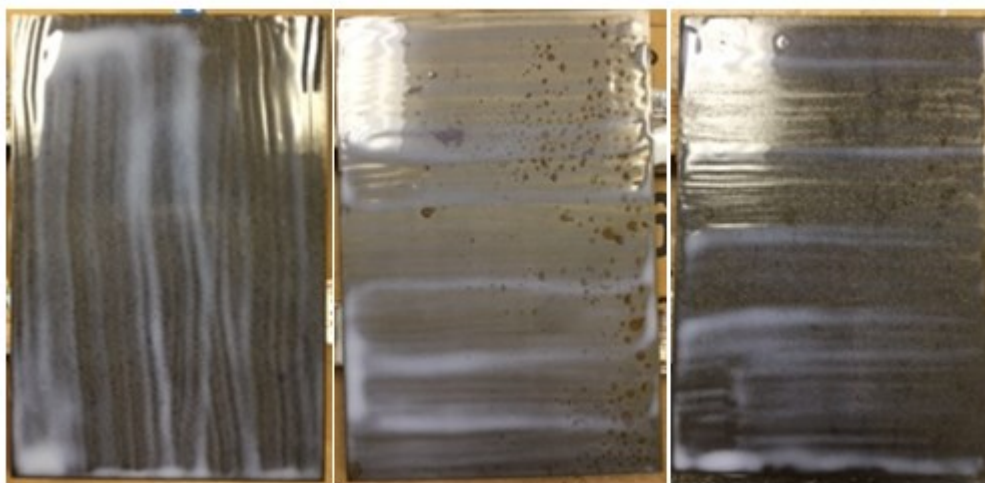
V grafu jsou znázorněny všechny vyhodnocené průměrné hodnoty parametrů drsnosti povrchu vzorků A, B, C. Jsou vidět patrné rozdíly u vzorku C, který je tryskaný a podobné hodnoty u vzorků A, B. Důležitou hodnotou je R_{sk} , pokud se nachází v záporné hodnotě, vzorek vypovídá dobré nosné vlastnosti profilu. Naopak je to pokud se hodnoty nachází v kladné hodnotě, pak jsou horší nosné vlastnosti profilu.



Graf. 4 – Celkové znázornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku A, B, C, v podélním a v příčném směru.

7.3 APLIKACE NÁTĚRU

Na vzorky byla nanесena transparentní nátěrová hmota. Aplikace proběhla po kondenzaci vzorků. Nátěrová hmota byla na vzorky nanесena štětcem. Nanесení štětcem bylo vybráno z důvodu, že se dosahují velmi kvalitní nátěry. Další výhodou bylo malé ztráty. Schnutí nátěru bylo ovlivněno prouděním vzduchu a vlhkostí. Rozsah schnutí 12-24 hodin. Aplikace transparentního nátěru neproběhla podle technologického postupu od výrobce.



Obr. 35 – Fotodokumentace aplikovaného nátěru na vzorky.

7.3.1 STANOVENÍ TLOUŠŤKY MOKRÉ VRSTVY NÁTĚRU ZUBOVOU MĚRKOU DLE ČSN EN ISO 2808

Stanovení tloušťky ovlivňují aspekty jako bariérový efekt povlaku, celistvost, pórovitost a fyzikálně chemické vlastnosti. Nátěrový systém nanášíme na očištěný povrch vzorku. Hned po nanесení se provádí měření pomocí zubové měrky. Měrka je plochá deska vyrobená z korozně odolného materiálu se zuby okolo okraje. Maximální tloušťka, kterou lze měřit je 2000 μm . [37]

Tloušťka mokré vrstvy nátěru se měřila po nanесení. Měření probíhalo pomocí hřebenové měrky a vše dle ČSN EN ISO 2808.

Tab. 8 – Naměřené hodnoty tloušťky mokré vrstvy.

VZORKY	PRŮMĚRNÁ TLOUŠŤKA MOKRÉ VRSTVY
	[μm]
A	113
B	113
C	113

7.3.2 STANOVENÍ TLOUŠŤKY SUCHÉ VRSTVY NÁTĚRU DLE ČSN EN ISO 2808

Poté co nátěr vytvrdí, se provádí stanovení tloušťky suché vrstvy. Přístroj umístíme na nátěrový systém a tloušťka povlaku se odečte ze stupnice nebo se vyřeší dle pokynů výrobce přístroje. [37]

Hned po vytvrzení nátěru proběhlo měření tloušťky suché vrstvy. Pro měření byla použita nedestruktivní metoda. Konkrétně měření digitálním přístroje ELCOMETER 456. Na každém vzorku proběhlo měření 10x a to na různých místech kontrolovaných vzorků. Na konec byly výsledky měření zaznamenány do tabulek a vyhodnoceny i graficky.

**Obr. 36** – ELCOMETER 456. [38]

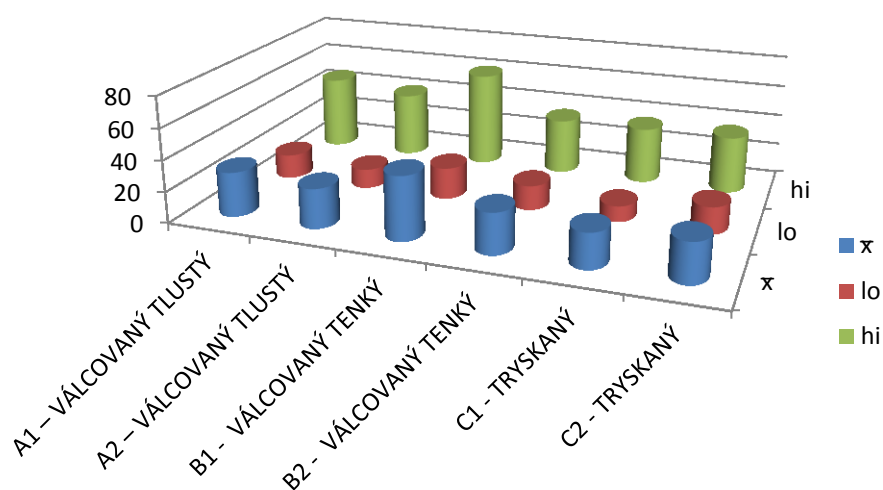
Tab. 9 – Naměřené hodnoty tloušťky suché vrstvy.

VZOREK	MĚŘENÉ PARAMETRY		
	\bar{x}	lo	hi
1A – VÁLCOVANÝ ZA TEPLA	28,45	15,4	47,6
2A – VÁLCOVANÝ ZA TEPLA	25,39	12,3	41,7
1B - STANDARD	40,83	20,1	61,2
2B - STANDARD	26,16	15,6	35,6
1C - TRYSKANÝ	22,33	10,0	36,0
2C - TRYSKANÝ	25,42	17,2	36,5

Všechny hodnoty v tabulce jsou průměrné hodnoty z 10 měření na vzorku.

Popis parametrů:

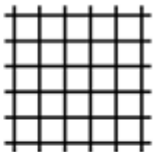
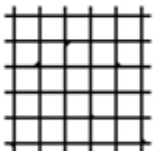
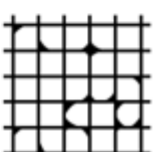
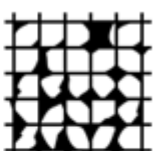
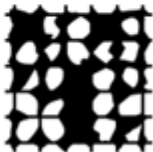
- \bar{x} – průměrná hodnota měření,
- lo – minimální hodnota měření,
- hi – maximální hodnota měření.

**Graf. 5** – Celkové znázornění průměrných hodnot měřených parametrů u vzorku.

7.4 ZKOUŠKY PŘILNAVOSTI NÁTĚROVÉHO SYSTÉMU

7.4.1 MŘÍŽKOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 16276-2

Pokud mluvíme o principu mřížkové zkoušky přilnavosti, mluvíme o vyřezání mřížky do nátěru. Ta se skládá z pravoúhlých řezů. Pomocí nožů se vyřeže čtvercová políčka mřížky, které se následně očistí kartáčkem. Všechny řezy musí projít nátěrem až k povrchu. Pomocí tloušťky nátěrů se nastavují jednotlivé rozestupy nožů a velikost mřížky. Po vytvoření mřížky se na místo přiloží adhezivní páska, která se následně odtrhne. Hodnocení kvality nátěru pak probíhá podle stupně poškození vzniklého odtrhnutím adhezivní pásky. [39]

KLASIFIKACE	POPIS	VZHLED
0	Řezy zcela hladké a žádný čtverec není poškozen	
1	Nepatrné poškození v místech, kde se řezy kříží. Poškození na ploše nesmí přesahovat 5 %.	
2	Nátěr nepatrně poškozený podél řezů a při křížení. Povrch mřížky smí být poškozen z více než 5 % a méně než 15 % z celkové plochy.	
3	Nátěr je částečně poškozený v rozích řezů a podél řezných hran částečně nebo celý na různých místech mřížky. Poškození je větší než 15 % a menší než 35 %.	
4	U nátěru velké změny v rozích řezů a některé čtverečky jsou zcela nebo částečně poškozeny. Mřížka je poškozena z více jak 35 % ale je poškozena méně než 65 %.	
5	Všechny změny, které jsou větší než u stupně 4.	-

Obr. 37 – Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky přilnavosti. [39]


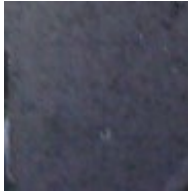
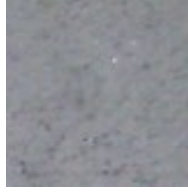

7.4.1.1 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ MŘÍŠKOVÉ ZKOUŠKY PŘÍLNAVOSTÍ DLE ČSN EN ISO 16276-2

Jedna ze zkoušek, která byla vybrána, je mřížková metoda dle ČSN EN ISO 16276-2, která dále odkazuje na ČSN ISO 2409. Pro tuto zkoušku byly použity následující pomůcky – nůž pro mřížkovou zkoušku, samolepící páska o šířce 50 mm, štěteček, kontrastní papír. Za pomoci těchto pomůcek byla zkouška provedena. Nejprve se zkoušený vzorek prohlídnul v dobrém světle. Poté následoval řez nožem v rovnoběžném směru a následně řez nožem v kolmém řezu na předešlý řez. Vzniklá mřížka byla následně očištěna štětečkem. Na takto vytvořený a očištěný řez se přilepila samolepící páska. Páska byla přitlačena palcem a dobře uhlazena. Po přilepení, byla páska pod úhlem 60° strhnuta z povrchu vzorku a nalepena na kontrastní papír. Na závěr byla zkouška vizuálně vyhodnocena dle normy ČSN EN ISO 16276-2, která odkazuje na ČSN ISO 2409.







Obr. 38 – Použitý nůž pro mřížkovou zkoušku. [40]

Vyhodnocení mřížky u vzorků A – ocelový plech válcovaný za tepla:**Tab. 10 – Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků A.**

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1A		4
		5
2A		5
		5


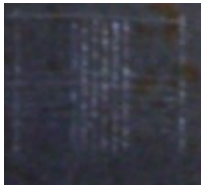
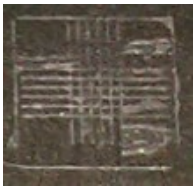
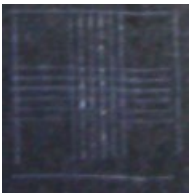
Mřížková zkouška přilnavosti, stanový kvalitu adheze nátěru k povrchu vzorků A. Měření bylo na každém vzorku provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích A měl hodně špatnou adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že čtverce jsou zcela poškozené.

Vyhodnocení mřížky u vzorků B – ocelový plech STANDARD:**Tab. 11 – Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků B.**

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1B		5
		4
2B		4
		4

Mřížková zkouška přilnavosti, stanový kvalitu adheze nátěru k povrchu vzorků B. Měření na každém vzorku bylo provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích B měl také hodně špatnou adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že čtverce jsou s větší částí poškozené.




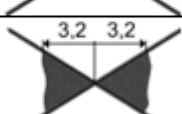


Vyhodnocení mřížky u vzorků C – ocelový plech tryskaný:**Tab. 12 – Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků C.**

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1C		0
		0
2C		1
		0

Mřížková zkouška přilnavosti, stanový kvalitu adheze nátěru k povrchu vzorků C. Měření na každém vzorku bylo provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích C měl velmi dobrou adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že čtverce jsou s větší částí nepoškozené nebo zcela nepoškozeny.

7.4.2 ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI KŘÍŽOVÝM ŘEZEM DLE ČSN EN ISO 16276-2

Zkouška „X“ řezem, kterou specifikuje norma ČSN EN ISO 16276-2, vyžaduje, aby nátěrovým systémem byly vedeny dva řezy a k podkladu. Každý řez musí být o délce 40 mm, které se následně protínají v jejich středu, oba řezy se pohybují v úhlu 30° - 40°. Na vytvořený řez se nalepí lepicí páska o rozměrech 75 mm a následně se odtrhne. Po odtržení se plocha řezu „X“ hodnotí dle normy. [41]

KLASIFIKACE	POPIS	VZHLED
0	Žádné odlupování.	
1	Nepatrné nebo velmi malé odlupování podél řezu nebo v průsečíku.	
2	Odlup podél řezu, v ploše max. do 1,6 mm od křížení řezů.	
3	Odlup podél řezu, v ploše max. do 3,2 mm od křížení řezů.	
4	Odpadávající nátěr z větší části plochy mezi kříži.	
5	Odpadávající nátěr z větší části plochy i mimo kříž.	

Obr. 39 – Vyhodnocení křížového řezu. [41]

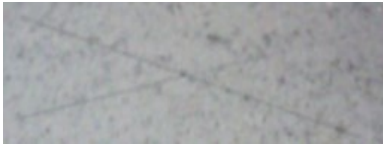



7.4.2.1 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ZKOUŠKY KŘÍŽOVÝM ŘEZEM DLE ČSN EN ISO 16276-2

Další zkouška, která byla vybrána pro hodnocení přilnavosti je zkouška křížovým řezem dle ČSN EN ISO 16276-2. Pro tuto zkoušku byly použity následující pomůcky – šablona pro vytvoření křížového řezu, jednobřitý nástroj, samolepící páska o šířce 50 mm, štěteček a kontrastní papír. Na vzorky byly za pomoci šablony a řezného nástroje vytvořeny řezy ve tvaru „X“. Po vytvoření byly štětečkem odstraněny nečistoty z řezu. Na vytvořený a očištěný řez byla přilepena a dotlačena lepicí páska prstem. Poté proběhlo odtrhnutí pásky a nalepení na kontrastní papír. Na závěr bylo vyhodnocení klasifikováno dle normy ČSN EN ISO 16276-2.




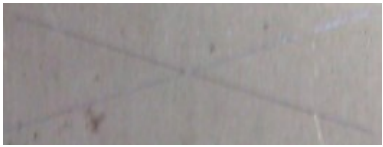
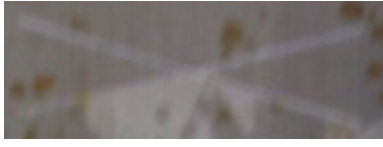
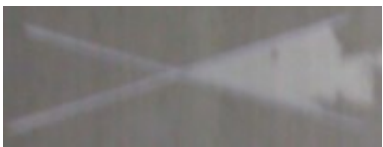
Obr. 40 – Použitá šablona pro vytvoření křížového řezu. [42]

Vyhodnocení křížového řezu u vzorků A – ocelový plech válcovaný za tepla:**Tab. 13** – *Vyhodnocení poškození u vzorků A.*

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1A		5
		5
2A		5
		5





Křížový řez stanovuje kvalitu adheze nátěru k povrchu. Měření bylo na každém vzorku provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích A měl hodně špatnou adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že je nátěr zcela odloupenutý.

Vyhodnocení křížového řezu u vzorků B – ocelový plech STANDARD:**Tab. 14 – Vyhodnocení poškození u vzorků B.**

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1B		4
		5
2B		3
		4

Křížový řez stanovuje kvalitu adheze nátěru k povrchu. Měření bylo na každém vzorku provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích B měl oproti vzorku A lepší adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že je nátěr například u vzorku 1B zcela odloupnutý ale u ostatních jde vidět lepší adhezní schopnosti.

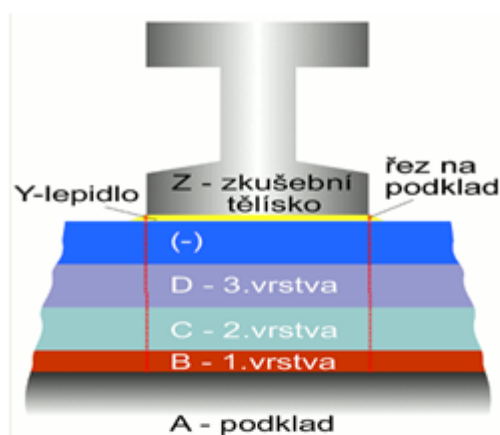
Vyhodnocení křížového řezu u vzorků C – ocelový plech tryskaný:**Tab. 15 – Vyhodnocení poškození u vzorků C.**

VZOREK	FOTODOKUMENTACE	STUPEŇ POŠKOZENÍ
1C		1
		1
2C		4
		1

Křížový řez stanovuje kvalitu adheze nátěru k povrchu. Měření na každém vzorku bylo provedeno dvakrát. Nátěr na vzorcích C měl velmi dobrou adhezní schopnost a dle fotodokumentace jde vidět, že pouze u jednoho měření vzorku 2C je nátěr odloupený. V jiných případech je nátěr zcela nepoškozený.

7.4.3 ODRHOVÁ ZKOUŠKA PŘILNAVOSTI DLE ČSN EN ISO 4624

Odrhová zkouška se provádí pomocí odtrhoměrů s různým měřicím rozsahem. Konečné výsledky odtrhu se udávají jako potenciální podíl plochy zkušebního válečku, která připadá na některou charakteristickou polohu lomu ve zkoušeném nátěrovém systému. Na lomech adhezních, kohezních a adhezně – kohezních. Výsledky se hodnotí dle Obr. č. 36. Hodnocením zkoušky je minimální tahové napětí v MPa, které je potřebné k odtržení zkušebního tělíska a posouzení lomové plochy. [43]



KLASIFIKACE	POPIS
A	Kohezní lom v podkladu.
A/B	Adhezní lom mezi podkladem a první vrstvou.
B	Kohezní lom první vrstvy.
B/C	Adhezní lom mezi první a druhou vrstvou.
-	Kohezní lom poslední vrstvy.
-/Y	Adhezní lom mezi poslední vrstvou a lepidlem.
Y	Kohezní lom v lepidle.
Y/Z	Adhezní lom mezi lepidlem a zkušebním tělískem.

Obr. 41 – Vyhodnocení odtrhu. [41]



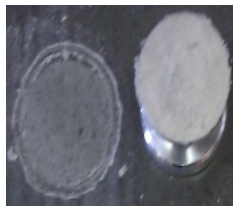
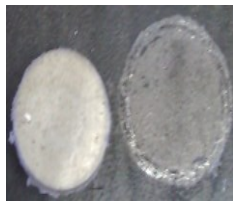
7.4.3.1 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ ODTRHOVÉ ZKOŠKY DLE ČSN EN ISO 4624

Poslední zkouška, která byla provedena pro hodnocení přilnavosti nátěru je odtrhová zkouška dle normy ČSN EN ISO 4624. Ke zkoušce byly použity následující pomůcky – přenosný odtrhoměr, zkušební tělíska z hliníkové slitiny, řezný nástroj, lepidlo, smirkový papír. Prvním krokem zkoušky bylo jemně smirkovým papírem obrousit válečky i nátěr na vzorkách kam budou válečky přilepeny. Poté namíchání lepidla a nanesení na funkční plochy válečků. Válečky byly následně přilepeny na vzorky, dále se museli nechat válečky 24 hodin vytvrdit. Po vytvrzení se pomocí řezného nástroje prořezal nátěr podél zkušebních válečků až na podklad. Dalším krokem je nasunutí odtrhoměru na válečky a odtržení válečků. Po odtržení se zaznamená hodnota napětí v tahu na stupnici odtrhoměru. Na konec se vyhodnotí lomové plochy na válečích a zkoušené plochy vzorků.







Obr. 42 – Použitý odtrhoměr při zkoušce. [44]

Vyhodnocení odtrhu u vzorků A – ocelový plech válcovaný za tepla:**Tab. 16 – Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků A.**

VZOREK	MĚŘENÍ	NAPĚTÍ V TAHU [MPa]	PRŮMĚRNÁ HODNOTA [MPa]	CHARAKTERISTIKA LOMU [%]
1A		1	0,75	30 % - A/B 70 % - B/Y
		0,5		25 % - A/B 75 % - B/Y
2A		0,5	0,5	25 % - A/B 75 % - B/Y
		0,5		30 % - A/B 70 % - B/Y



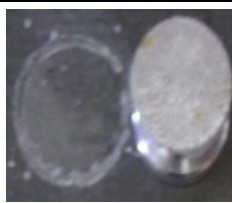

Z tabulky vyplívá, že u vzorků A je odtrhová pevnost nízká a převažuje adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem. Tak, že přilnavost u vzorků A je nevyhovující.

Vyhodnocení odtrhu u vzorků B – ocelový plech válcovaný STANDARD:**Tab. 17 – Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků B.**

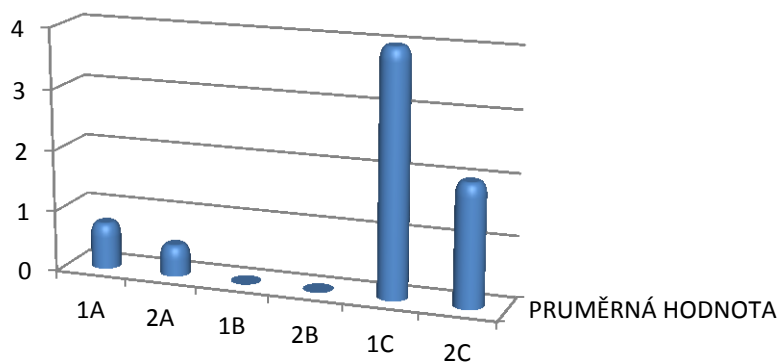
VZOREK	MĚŘENÍ	NAPĚTÍ V TAHU [MPa]	PRŮMĚRNÁ HODNOTA [MPa]	CHARAKTERISTIKA LOMU [%]
1B		0	0	3 % - A/B 97 % - B/Y
		0		100 % - B/Y
2B		0	0	5 % - A/B 80 % - B/Y 15 % - Y/Z
		0		5 % - A/B 85 % - B/Y 10 % - Y/Z

Z tabulky u vzorků B vyplívá, že je odtrhová pevnost absolutně žádná. U vzorku 1B se dokonce zkušební váleček odtrhnul už při prořezání nátěru a lepidla kolem válečku. Při vzorku 2B sice došlo k nasunutí odtrhoměru ale po jedné otočce došlo ihned k odtrhu. Tím pádem u těchto vzorků převažuje adhezní lom mezi nátěrem a lepidlem, jen u vzorku 2B minimální adhezní lom mezi lepidlem a tělískem. Tak, že přilnavost u vzorků B je nevyhovující.

Vyhodnocení odtrhu u vzorků C – ocelový plech tryskaný:**Tab. 18** – *Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků C.*

VZOREK	MĚŘENÍ	NAPĚTÍ V TAHU [MPa]	PRŮMĚRNÁ HODNOTA [MPa]	CHARAKTERISTIKA LOMU [%]
1C		5	4	30 % - A/B 70 % - B/Y
		3		25 % - A/B 75 % - B/Y
2C		2	2	40 % - A/B 55 % - B/Y 5 % - Y/Z
		2		40 % - A/B 40 % - B/Y 20 % - Y/Z

U posledních vzorků vyplívá z tabulky, že odtrhová síla je oproti ostatním mnohem lepší. V tom to případě převahuje také adhezní lom mezi lepidlem a nátěrem, jen u vzorků 2C jsou ty hodnoty vyrovnanější. Pokud se podíváme na napětí v tahu při zkoušce, u vzorku 1C byla vyhovující síla a u vzorku 2C se síla odtrhu pohyblá těsně pod vyhovující hodnotou z praxe 3 MPa.

Celkové vyhodnocení odtrhu:

Graf. 6 – Celkové znázornění průměrných hodnot napětí v tahu při odtrhu.

Z grafu je patrné, že u vzorků tryskaných je pevnost vyšší, než u vzorků válcovaných. Tím padám je odtrhová pevnost u válcovaných vzorků špatná a u otryskaných vzorků dobrá.

8. ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřuje na studium vlivu čistoty substrátu na adhezi nanopovlaků. Je rozdělena na dvě části a to na teoretickou část a experimentální část.

V teoretické části byla prostudována koroze, předúpravy povrchu, adheze a na závěr vlastnosti nanopovlaků. V úvodní části je popsána koroze, její definice, základní rozdělení a z jakých důvodů vzniká. V následující části jsou jednotlivé formy koroze popsány a většinou i fotografií znázorněny. K těmto částím ještě byla přidána jednotlivá část pro bleskovou korozi. Po těchto částích následují předúpravy povrchu, jejich základní rozdělení a jednotlivé popsání technologií. Předposlední část popisuje adhezi k substrátu. V závěru teoretické části jsou popsány vlastnosti nanopovlaků.

Experimentální část diplomové práce se zabývá přilnavostí transparentního nátěru, na různé podkladové materiály a to při podmínkách, kdy se nedodrží technologický postup aplikace nátěru daný výrobcem. Všechny zkoušky jsou popsány a vyhodnoceny. Nejprve proběhla příprava a značení vzorků. Jednalo se o tři vzorky s různým opracováním a různých tloušťek. Následovalo hodnocení povrchu vzorku, byla měřena prašnost a drsnost. Před aplikací nátěru, došlo ke kondenzaci vzorku, z důvodů bleskové koroze. Následně byl nátěr aplikován na vzorky a bylo provedeno stanovení mokré tloušťky nátěru. Po vytvrzení nátěru byla změřená suchá tloušťka nátěru a provedeny zkoušky přilnavosti, nejprve mřížková zkouška, následně po ní křížový řez a poslední zkouška odtrh. Všechny zkoušky byly provedeny a vyhodnoceny dle norem.

Z výsledků experimentální části je patrné, že pokud se nedodrží technologický postup při aplikaci nátěru, který je daný výrobcem transparentního nátěru, přilnavost na různé povrchy není dobrá. Pokud mluvíme o přilnavosti nátěru při zkoušce mřížkovým řezem u vzorků A, B byly tyto schopnosti velmi špatné. U vzorků C byly výsledky o mnoho lepší. Podobně stejně výsledky byly zjištěny i při zkouškách křížovým řezem a odtrhem.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB - TU Ostrava, 2006, 3. vyd. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- [2] MOHYLA, Miroslav. *Koroze a povrchové úpravy kovů ve strojírenství*. Ostrava: VŠB - TU, 1981. ISBN 163393—7317/18.
- [3] STROJAR. *Koroze a technologie povrchových úprav* [online]. © 2016 [cit. 2016-01-08]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/koroze_a_tecnologie_povrchovych_uprav.pdf.
- [4] DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. 1. Vydání. Praha: Europa Sobotáles cz. s.r.o., 2007. 612 s. ISBN 987-80-86706-19-1.
- [5] VSCHT. *Atmosféra* [online]. Praha: VSCHT, 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/atlas/kapitoly/atmosfera/obr/f018.htm
- [6] DREVOSTAVBY. *Koroze komínové vložky na plyn* [online]. Praha: PROVOBIS s.r.o., 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://www.drevoastavby.cz/cs/drevostavby-archiv/zdrave-bydleni/2963-kominici-plyn-je-dobry-sluha-ale-zly-pan>
- [7] VSCHT. *Půdní koroze* [online]. Praha: VSCHT, 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/p_puda.htm

- [8] COLORADO GEOLOGICAL SURVEY. *Corrosive Soil Damage* [online]. Colorado, 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: <http://coloradogeologicalsurvey.org/geologic-hazards/corrosive-soils/corrosive-soil-damage/>
- [9] FREEIMAGESLIVE. *Rusted pier support* [online]. Freeimageslive, 2016 [cit. 2016-01-10]. Dostupné z: http://www.freeimageslive.co.uk/free_stock_image/piersupportsjpg
- [10] KPRO. *Naše řemeslo* [online]. Vizovice: Klempířství Prokop, 2010 [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.kpro.cz/nase-remeslo.html>
- [11] ZCU. *Povrchy a jejich úpravy* [online]. Plzeň: ZCU, 2016 [cit. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/POUcelk.pdf>
- [12] EURO INOX. *Contact with Other CZ* [online]. EURO INOX, 2016 [cit. 2016-01-12]. Dostupné z: http://www.euro-inox.org/pdf/map/Contact_with_Other_CZ.pdf
- [13] VSCHT. *Štěrbínová koroze* [online]. Praha: VSCHT, 2016 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_sterb.htm#obr6
- [14] MUNI. *Průzkum a restaurování ovládacího panelu klimatizace z vily Tugendhat* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2016 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/211775/prif_m/diplomova_prace.pdf
- [15] CEBELCOR. *Filiform corrosion on coated aluminium* [online]. Waterloo: Belgian Centre for Corrosion Study, 2016 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://www.cebelscor.org/activities.lasso?Id=5&SubCat=>

- [16] MENDELU. *Druhy korozního napadení* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3717&typ=html
- [17] WIKIPEDIA. *Mezikrystalová koroze austenitické korozivzdorné oceli* [online]. Wikipedia, 2016 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Koroze#/media/File:Intergranular_corrosion.JPG
- [18] MAFLEX. *Nerezavějící oceli - všeobecně* [online]. Slavkov u Brna: EJMAFLEX s r. o., 2014 [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: http://www.maflex.cz/frontend/files/cms/Zakladni_informace_new.pdf
- [19] SIRIUS. *Knife corrosion* [online]. Sirius, 2016 [cit. 2016-01-20]. Dostupné z: <http://sirius.mtm.kuleuven.be/Research/corr-o-scope/hcindex2/rltd1.htm>
- [20] CORROSIONPEDIA. *Exfoliation Corrosion* [online]. Corrosionpedia Inc., 2016 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <https://www.corrosionpedia.com/definition/479/exfoliation-corrosion>
- [21] HAWAIICORROSIONLAB. *Exfoliation* [online]. Honolulu: Hawaii Corrosion Laboratory, 2009 [cit. 2016-02-04]. Dostupné z: http://hawaii corrosionlab.org/photos/aircraft/exfoliation_800.jpg
- [22] VSCHT. *Selektivní koroze* [online]. Praha: VSCHT, 2016 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_selekt.htm#obr4
- [23] VSCHT. *Korozní praskání* [online]. Praha: VSCHT, 2016 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/koroze_korozni_praskani/teorie.htm

- [24] DRAMARNATHGIRI. *Corrosion control cooling systems* [online]. Dramarnathgiri, 2012 [cit. 2016-02-12]. Dostupné z: <http://dramarnathgiri.blogspot.cz/2012/08/corrosion-control-cooling-systems.html>
- [25] MET TECH. *Cracked nozzle analysis* [online]. Mooresville: Metallurgical Technologies, Inc., 2016 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z: <http://met-tech.com/cracked-nozzle-analysis.html>
- [26] CORRKIL. *Corrosion* [online]. Delhi: Corrkil Solutions, 2016 [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://www.corrkil.com/>
- [27] PUMPFUNDAMENTALS. *Pump and pump system glossary* [online]. Pumpfundamentals, 2010 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: http://www.pumpfundamentals.com/pump_glossary.htm
- [28] MAVERICKINSPECTION. *Hydrogen corrosion* [online]. Sherwood Park: Meverick Inspection Ltd., 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.maverickinspection.com/services/remote-video-inspection/rvi-video-imagery-gallery/storage-underground-tanks/>
- [29] UPCE. *Metody testování vlastností organických povlaků* [online]. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/uchtml/12-onhop/studijni-materialy/metody-test-kor-vl.pdf>
- [30] RUSTCORROSIONTESTING. *Flash rust* [online]. Lorette: Laboratoires LABEMA® Mentions légales, 2016 [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: <http://www.rust-corrosion-testing.com/WP/?lang=en>

- [31] POLANSKÝ, Ladislav. *Studium vlivu reliéfu povrchu ocelového substrátu na přilnavost ochranných povlaků* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/81329/POL619_FS_B2341_2303R002_70_2010.pdf?sequence=1
- [32] SLIDEPLAYER. *Adheze* [online]. SlidePlayer.cz Inc., 2016 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3106804/#>
- [33] SUCHÁNKOVÁ, Kateřina. *Studium vlivu předúpravy kovového substrátu na protikorozi ochranu nátěrových systémů obsahující nanoelementy* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2016 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: http://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/101239/SUC148_FS_P2301_2303V002_2013.pdf?sequence=1
- [34] TANGER. *Vývojové trendy v použití ochranných povlaků* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: TANGER, spol. s r. o., 2009 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: http://konsys-t.tanger.cz/files/proceedings/nanocon_09/Lists/Papers/089.pdf
- [35] ČSN ISO 8502-3. *Příprava ocelových podkladů před nanesením nátěrových hmot a obdobných výrobků zkoušky pro vyhodnocení čistoty povrchu Část 3: Stanovení prachu na ocelovém povrchu připraveném pro natírání*. Praha: Český normalizační institut, 1999, 12 s.
- [36] ČSN EN ISO 4287. *Geometrické požadavky na výrobky (GPS) Struktura povrchu: Profilová metoda Termíny, definice a parametry struktury povrchu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [37] ČSN EN ISO 2808. *Nátěrové hmoty stanovení tloušťky nátěru*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 40 s.

- [38] ELCOMETERUSA. *Elcometer 456* [online]. elcometerusa.com, 2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.elcometerusa.com/Elcometer-456-Scale-1-B.html>
- [39] ČSN EN ISO 2409. *Nátěrové hmoty - mřížková zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 16 s.
- [40] ELCOMETER. *Elcometer 107* [online]. Elcometer Limited, 2015 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.elcometer.com/en/coating-inspection/adhesion-testers/cross-hatch-adhesion-testers/elcometer-107-cross-hatch-cutter.html>
- [41] ČSN EN ISO 16276-2. *Ochrana ocelových konstrukcí proti korozi ochrannými nátěrovými systémy hodnocení a kritéria přijetí adheze/koheze (odtrhová pevnost) povlaku Část2: Mřížková zkouška a křížový řez*. Praha: Český normalizační institut, 2008, 16 s.
- [42] GAMIN. *Šablona pro mřížkovou zkoušku* [online]. Ostrava: Gamin, 2016 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://www.gamin.cz/katalog/merici-a-laboratorni-pristroje/prilnavost/mrizkova-zkouska/sablona-pro-mrizkovou-zkousku-master-paint-plate>
- [43] ČSN EN ISO 4624 (67 3077). *Nátěrové hmoty: Odtrhová zkouška přilnavosti*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [44] AIMIL. *Elcometer 106/6* [online]. Aimil Ltd., 2011 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: http://www.aimil.com/product-Elcometer_106_6_Coatings_on_Concrete_Adhesion_Tester-1031.aspx

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 1 - <i>Průběh elektrochemické koroze oceli</i>	12
Obr. 2 – <i>Atmosférická koroze kovové konstrukce</i>	13
Obr. 3 – <i>Koroze způsobená plyným prostředím</i>	14
Obr. 4 – <i>Měděné potrubí zasaženo půdní korozí</i>	15
Obr. 5 – <i>Molo pokryté korozí způsobenou působením vody</i>	15
Obr. 6 – <i>Rovnoměrná koroze</i>	16
Obr. 7 – <i>Rovnoměrná koroze (1 – původní povrch, 2 – povrch po napadení)</i>	16
Obr. 8 – <i>Skvrnitá koroze</i>	17
Obr. 9 – <i>Nerovnoměrná koroze</i>	17
Obr. 10 – <i>Grafické znázornění případů pro vznik galvanického článku</i>	18
Obr. 11 – <i>Počáteční fáze štěrbinové koroze (spotřeba kyslíku)</i>	19
Obr. 12 – <i>Poslední fáze štěrbinové koroze</i>	19
Obr. 13 – <i>Nitková koroze</i>	20
Obr. 14 – <i>Důlková a bodová koroze</i>	21
Obr. 15 – <i>Mezikrystalová koroze astenické korozivzdorné oceli</i>	21
Obr. 16 – <i>Snímek nožové koroze</i>	22
Obr. 17 – <i>Exfoliační koroze hliníku</i>	23
Obr. 18 – <i>Extrakční koroze (odzinkování mosazi)</i>	23
Obr. 19 – <i>Korozní praskání</i>	24
Obr. 20 – <i>Makroskopický snímek trhliny způsobené korozní únavou</i>	25
Obr. 21 – <i>Vibrační koroze</i>	25
Obr. 22 – <i>Kavitační poškození</i>	26
Obr. 23 – <i>Vodíková koroze</i>	27
Obr. 24 – <i>Poškození nátěrové hmoty bleskovou korozí</i>	28
Obr. 25 – <i>Nanočástice (oxidy železa)</i>	36
Obr. 26 – <i>Ocelový plech – válcovaný tenký, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x</i>	38
Obr. 27 – <i>Ocelový plech – válcovaný tlustý, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x</i>	39
Obr. 28 – <i>Ocelový plech – tryskaný, detail povrchu a řez vpravo, zvětšeno 100x</i>	39
Obr. 29 – <i>Ocelový plech – válcovaný za tepla (blesková koroze)</i>	40

Obr. 30 – <i>Ocelový plech – STANDARD (blesková koroze)</i>	41
Obr. 31 – <i>Ocelový plech – válcovaný za tepla – tryskaný (blesková koroze)</i>	41
Obr. 32 – <i>Obrazová stupnice odpovídající množství prachu</i>	42
Obr. 33 – <i>Třídy velikosti prachových částic</i>	42
Obr. 34 – <i>profilometr Mitutoyo Surftest SJ 301</i>	45
Obr. 35 – <i>Fotodokumentace aplikovaného nátěru na vzorky</i>	53
Obr. 36 – <i>ELCOMETER 456</i>	54
Obr. 37 – <i>Klasifikace výsledků mřížkové zkoušky přilnavosti</i>	56
Obr. 38 – <i>Použitý nůž pro mřížkovou zkoušku</i>	57
Obr. 39 – <i>Vyhodnocení křížového řezu</i>	61
Obr. 40 – <i>Použitá šablona pro vytvoření křížového řezu Použitý odtrhoměr při zkoušce</i>	62
Obr. 41 – <i>Vyhodnocení odtrhu</i>	66
Obr. 42 – <i>Použitý odtrhoměr při zkoušce</i>	67
Tab. 1 – <i>Vyhodnocení zaprášení povrchu dle normy ČSN ISO 8502-3</i>	43
Tab. 2 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku A v podélném směru</i>	46
Tab. 3 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku A v příčném směru</i>	47
Tab. 4 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku B v podélném směru</i>	48
Tab. 5 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku B v příčném směru</i>	49
Tab. 6 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku C v podélném směru</i>	50
Tab. 7 – <i>Tabulka naměřených hodnot drsnosti u vzorku C v příčném směru</i>	51
Tab. 8 – <i>Naměřené hodnoty tloušťky mokré vrstvy</i>	54
Tab. 9 – <i>Naměřené hodnoty tloušťky suché vrstvy</i>	55
Tab. 10 – <i>Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků A</i>	58
Tab. 11 – <i>Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků B</i>	59
Tab. 12 – <i>Vyhodnocení poškození nátěru u vzorků C</i>	60
Tab. 13 – <i>Vyhodnocení poškození u vzorků A</i>	63
Tab. 14 – <i>Vyhodnocení poškození u vzorků B</i>	64
Tab. 15 – <i>Vyhodnocení poškození u vzorků C</i>	65
Tab. 16 – <i>Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků A</i>	68
Tab. 17 – <i>Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků B</i>	69
Tab. 18 – <i>Vyhodnocení odtahové zkoušky u vzorků C</i>	70

Graf. 1 – Znáznornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku A, v podélním a v příčném směru	47
Graf. 2 – Znáznornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku B, v podélním a v příčném směru	49
Graf. 3 – Znáznornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku C, v podélním a v příčném směru	51
Graf. 4 – Celkové znázornění průměrných naměřených hodnot parametru drsnosti u vzorku A, B, C, v podélním a v příčném směru	52
Graf. 5 – Celkové znázornění průměrných hodnot měřených parametrů u vzorku	55
Graf. 6 – Celkové znázornění průměrných hodnot napětí v tahu při odtrhu	71